

Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

BAKALÁRSKA PRÁCA



Silvia Debnárová

AstroCam

Kabinet software a výuky informatiky

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jan Horáček

Studijní program: Informatika

Studijní obor: obecná informatika

2011

Na tomto mieste by som sa rada poďakovala všetkým, bez ktorých by táto práca nemohla vzniknúť. Obzvlášť chcem poďakovať vedúcemu práce, RNDr. Janovi Horáčkovi, za cenné pripomienky, trpezlivosť a čas, ktorý mi venoval a za poskytnutie astronomických snímok na testovanie.

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu napísala samostatne a výhradne s použitím citovaných prameňov. Súhlasím s požičiavaním práce a jej zverejňovaním.

V Prahe dňa 21.7.2011

Název práce: AstroCam

Autor: Silvia Debnárová

Katedra / Ústav: Kabinet software a výuky informatiky

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jan Horáček

Email vedoucího: jan.horacek@gmail.com

Email autora: sildeb@pobox.sk

Abstrakt: Cieľom práce je vyvinúť software, ktorý umožní užívateľovi vyhotoviť a uložiť snímky astronomických objektov pomocou web kamery pripojenej k ďalekohľadu a následne ich spracovať procesom zvaným registrácia. V práci sa venujeme metódam snímania, ktoré sa pri tomto type astrofotografie využívajú a vadám, s ktorými sa pri tom môžeme stretnúť. Následne sa zaoberáme registráciou zo všeobecného pohľadu a s prihliadnutím na špecifiká v astronómii. Bližšie popisujeme jednotlivé kroky dvoch nami vybraných registračných metód implementovaných v programe, jeho celkovú architektúru a na záver porovnáваме náš software s podobnými produktmi.

Klíčová slova: astrofotografia, CCD snímame, registrácia, web kamera

Title: AstroCam

Author: Silvia Debnárová

Department: Department of Software and Computer Science Education

Supervisor: RNDr. Jan Horáček

Email of supervisor: jan.horacek@gmail.com

Email of author: sildeb@pobox.sk

Abstract: The aim of the thesis is to implement software that allows the user to capture and save images of astronomical objects with a web camera attached to a telescope, and process them with a method called registration. We look at methods used for this type of astrophotography and errors we can encounter. Next, we describe registration in general, and with regards to astronomy. We describe in detail individual steps of two implemented registration methods, the overall program architecture, and finally compare our software with similar products.

Keywords: astrophotography, CCD imaging, registration, web camera

Obsah

ÚVOD.....	5
1. KAPITOLA – SNÍMANIE ASTRONOMICKÝCH OBJEKTOV.....	7
1.1. História a súčasnosť snímania astronomických objektov.....	7
1.2. Metódy snímania v amatérskej astrofotografii.....	9
1.2.1. Použitie web kamery k astrofotografii.....	10
1.2.2. Montáž ďalekohľadu a web kamery.....	11
1.2.3. Najčastejšie vady pri snímaní a ich eliminácia.....	15
2. KAPITOLA – REGISTRÁCIA OBRAZOV.....	17
2.1. Formálna definícia registrácie.....	17
2.2. Algoritmus registrácie.....	18
2.3. Klasifikácia registračných metód.....	18
2.4. Dôvody a špecifiká registrácie v astronómii.....	20
3. KAPITOLA – IMPLEMENTÁCIA.....	22
3.1. Registrácia založená na príznakoch.....	23
3.1.1. Detekcia príznakov (1.krok registrácie).....	23
3.1.2. Hľadanie korešpondencie medzi nájdenými príznakmi (2.krok).....	27
3.1.3. Odhad transformačnej funkcie medzi korešpondenciami a samotná transformácia pomocou mapujúcej funkcie (3. a 4. krok).....	29
3.2. Registrácia založená na intenzite.....	30
3.3. Porovnanie zvolených registračných metód.....	32
4. KAPITOLA – ARCHITEKTÚRA SOFTWARE ASTROCAM.....	34
4.1. Predpoklady ovplyvňujúce návrh programu.....	34
4.2. Štruktúra programu.....	35
5. KAPITOLA – PREHĽAD PODOBNÉHO SOFTWARE NA SPRACOVANIE ASTRONOMICKÝCH SNÍMOK.....	38
ZÁVER.....	40
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY.....	41
APENDIX A.....	43
APENDIX B.....	44

Úvod

Astronómia ako vedná disciplína študuje nebeské objekty a podľa toho, v akej vlnovej dĺžke tieto objekty skúma, je rozdelená na niekoľko odvetví. Jedným z nich je optická astronómia, ktorá sa zaoberá astronomickými objektmi vo viditeľnom svetle. Okrem iného sem patrí aj astrofotografia. Astrofotografia nie je výsadou špecializovaných pracovísk, ako sú observatória či agentúry, ako je americký Národný úrad pre letectvo a vesmír (NASA). Dnes je tento špecializovaný typ fotografie rýchlo sa rozvíjajúcim koníčkom medzi fotografmi a astronómami - amatérmi. Je to dané predovšetkým relatívne dostupnou technológiou, jednoduchosťou použitia a znižujúcimi sa nákladmi. K získaniu zaujímavých fotografií astronomických objektov stačí amatérskemu nadšencovi len ďalekohľad, snímacie zariadenie, dobré oko a veľká dávka trpezlivosti.

Ciele práce

V našej práci sa budeme venovať metóde, pomocou ktorej je možné relatívne lacno vyhotoviť astronomické snímky. Ako snímacie zariadenie použijeme web kameru pripojenú k ďalekohľadu. Týmto spôsobom sa dá získať veľké množstvo snímok, ktoré však samé o sebe trpia rôznymi vadami a zobrazené objekty sú na nich často krát slabé. Je teda nutné získané snímky určitým spôsobom upraviť, aby zobrazené objekty vynikli v čo najlepšej kvalite. Predstavíme si na to určený proces registrácie. Na tento účel sme vytvorili software, ktorý umožní užívateľovi vyhotoviť snímky astronomických objektov a následne ich spracovať.

Cieľom práce je teda vytvorenie softwaru AstroCam, ktorý sprostredkuje užívateľovi nasnímanie astronomických objektov na oblohe pomocou web kamery. Software umožní snímky vyhotoviť, uložiť a spracovať pomocou priemerovania a dvoch nami vybraných registračných metód. Prvou z nich je metóda založená na hľadaní a párovaní výrazných príznakov vo vstupných obrazoch a druhou z nich je metóda založená na porovnávaní jasových intenzít bodov vstupných obrazov.

Text práce je rozdelený do niekoľkých kapitol.

Štruktúra práce

- V kapitole 1 popíšeme históriu a súčasnosť amatérskej astrofotografie a metódy použiteľné na snímanie pomocou web kamery a ďalekohľadu. Popíšeme si, akým spôsobom sa dajú web kamery na astrofotografiu použiť, ako je možné web kameru k ďalekohľadu primontovať a s ktorými najčastejšími vadami sa môžeme pri snímaní stretnúť.
- V kapitole 2 sa zaoberáme procesom registrácie všeobecne, definujeme ho z matematického hľadiska, uvedieme klasifikáciu registračných metód. Na záver rozoberieme špecifiká registrácie v astronómii.
- Kapitola 3 predstaví našu implementáciu snímacej časti a podrobnejšie popíše implementáciu jednotlivých krokov algoritmu registrácie v našom software.
- V 4. kapitole sa budeme venovať architektúre nášho softwaru z programátorského hľadiska, uvedieme predpoklady, ktoré sme brali na zreteľ pri návrhu nášho softwaru a popíšeme jeho štruktúru.
- Kapitola 5 predstavuje podobný software k dispozícii zameraný na snímanie astronomických objektov a úpravu astronomických snímok pomocou registrácie a porovnáva vybrané programy s naším softwarom.
- V appendixe A je uvedený obsah priloženého dátového nosiča, na ktorom sa nachádzajú zdrojové kódy softwarovej časti projektu AstroCam.
- Appendix B obsahuje užívateľskú a programátorskú dokumentáciu softwaru, tabuľku web kamier vhodných na použitie v astrofotografii, ukazuje užívateľské rozhrania vybraných konkurenčných produktov, vizuálne porovnanie výsledkov registrácie z nášho softwaru a programu Registax a zobrazuje optické sústavy (typy montáží) web kamery a ďalekohľadu.

V texte našej práce uvádzame v zátvorke u niektorých pojmov aj ich anglický ekvivalent.

1. Kapitola – Snímanie astronomických objektov

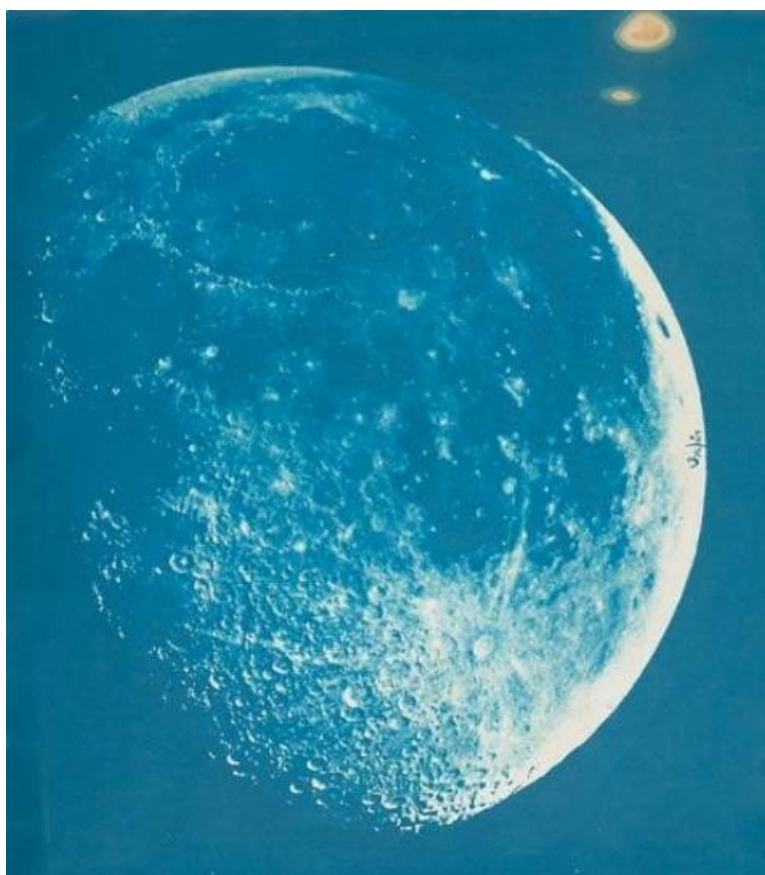
Astronómia je stará ako ľudstvo samo. S vynájdením fotografie dostali ľudia možnosť krásy nebeských objektov zaznamenať. Špecializovaný typ fotografie, ktorý sa zameriava na vyhotovenie fotografií týchto astronomických objektov, ako napr. hviezd, planét, či vzdialených objektov ako sú galaxie, sa nazýva astrofotografia. V tejto kapitole si popíšeme históriu a súčasnosť snímania, pričom sa zameriame hlavne na amatérsku astrofotografiu. Následne si popíšeme metódy, ktoré môžu astronómovia-amatéri použiť k vyhotoveniu astronomických snímok. Naša práca sa venuje využitiu web kamery a ďalekohľadu k tomuto účelu.

1.1. História a súčasnosť snímania astronomických objektov

Zrodenie veku fotografií bolo na prvom verejnom oznámení procesu daguerrotypie Louis Daguerra v januári 1839, kedy bola sprístupnená svetu. Reč podal astronóm a politik v jednej osobe Francois Arago, ktorý bol veľkým zástancom Daguerra. Mesiace pred týmto oznámením Daguerre vyhotovil snímku Mesiaca na žiadosť Araga, vďaka čomu patria prvé astrofotografie k vôbec najstarším vyhotoveným fotografiám. Astrofotografia vlastne predchádza klasickej fotografii. Prvá astrofotografia je pripisovaná Johnovi W.Draperovi, ktorý vyfotografoval Mesiac už v roku 1840.

V roku 1842 nasnímal prvú snímku Slnka Francúz Lerebours. V roku 1850 vyhotovil astronóm John A. Whipple snímku prvej fixnej hviezdy Vegy, montáž ďalekohľadu však pre expozičnú dobu 100 sekúnd nebola dostatočne presná. Syn Johna Drapera Henry Draper patril k priekopníkom astrofotografie, v roku 1880 sa stal prvým človekom, ktorý nafotografoval súhvezdie Orión, čo bola prvá astrosnímka z hlbokého vesmíru.

Americký astronóm Edward Emerson Barnard bol priekopník použitia fotografie pri mapovaní oblohy, ktorý pomocou astrofotografie objavil 5. Jupiterov mesiac Amalthea, niekoľko komét a hviezdu s najväčším známym vlastným pohybom, ktorá bola na jeho počesť nazvaná Barnardova hviezda. Objav mesiaca Amalthea viedol k záujmu ostatných astronómov o hľadanie ďalších mesiacov pomocou astrofotografovania.



Obrázok č.1 – The Moon, Henry Draper, 1863.

Zdroj: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Astrofotografie>

V roku 1969 vynášli George Smith a Willard Boyle snímače typu CCD¹ a v nasledujúcom roku zabudovali CCD do fotoaparátu. Až v roku 1981 spoločnosť Sony vyrobila prvý fotoaparát, ktorý namiesto filmu na chemickom princípe zaznamenával obraz na elektronické prvky CCD. Od roku 1983 sa CCD senzory používajú v astronomických ďalekohľadoch, čím prinášajú prielom do astronómie. Ďalej sa budeme venovať predovšetkým amatérskej astrofotografii.

V dnešnej dobe je astrofotografia obľúbené hobby medzi fotografmi a amatérskymi astronómami. Fotografie nočnej oblohy sa dajú vyhotoviť pomocou aj tých najzákladnejších filmových a digitálnych fotoaparátov. Na obyčajné snímky hviezdnych stôp na oblohe nie je nutné žiadne extra vybavenie okrem statívu. Na pokročilé astrofotografovanie je k dispozícii široké spektrum vybavenia. Snímky môžu byť získavané pomocou rozdielnych typov médií a zobrazovacích zariadení vrátane zrkadloviek, 35 mm filmu, digitálnych zrkadloviek, špecializovaných astronomických CCD fotoaparátov, videokamier, alebo web kamier adaptovaných na snímanie dlhých expozícií.

¹ CCD skratka pre Charge-coupled device

Do 90.ých rokov 20. storočia prevládalo snímanie na klasický film, od konca 90.ých rokov nasledovali astronómovia-amatéri profesionálne observatória v trende snímania na digitálne CCD zariadenia. CCD zariadenia majú lineárnu odozvu na svetlo a sú citlivejšie než film, čo umožňuje kratšie expozičné časy. Jednoduché digitálne zariadenia ako sú web kamery môžu byť upravené, aby umožňovali prístup k ohniskovej rovine a dokonca po dodatočných úpravách k dlhým expozičným časom. Klasické digitálne fotoaparáty a iné digitálne zariadenia pri dlhých expozíciách trpia zvýšeným zašumením obrazu, ktoré sa dá riešiť rôznymi technikami na chladenie zariadenia.

1.2. Metódy snímania v amatérskej astrofotografii

V súčasnej dobe sa pre astrofotografiu používa niekoľko hlavných skupín kamier. Jednak sú to webové kamery, ďalej citlivé bezpečnostné televízne kamery, bežné videokamery a astronomické kamery. Web kamery a astrokamery sú odkázané na pripojenie k počítaču, majú v sebe zabudovaný A/D prevodník a ich výstupom je už digitálny videosignál. Kamery všeobecne neumožňujú tak dlhé expozície ako fotoaparáty. Obvyklé najdlhšie časy expozícií sa u nich pohybujú okolo 1/60–1/30 s. Výnimkou sú špeciálne druhy bezpečnostných televíznych kamier a astrokamier, ktoré umožňujú snímať expozície až niekoľko sekúnd dlhé.

V astrofotografii sa kamery využívajú obzvlášť k dvom účelom. Jednak k zaznamenaniu zaujímavých, relatívne rýchlych javov, ako sú napr. zákryty planét Mesiacom, prelety umelých družíc cez disk Slnka a Mesiaca, planétkové zákryty, a pod. Druhou oblasťou, kde sa kamery hodne využívajú, sú detailné snímky jasných objektov slnečnej sústavy, obzvlášť Venuše, Marsu, Jupitera, Saturna, detailov Mesiaca a Slnka. Tieto objekty sú uhlovo veľmi malé, takže je nutné používať pre ich snímanie ďalekohľady s väčšou ohniskovou vzdialenosťou. Na takýchto sústavách sú kamery s úspechom používané, pretože jasnosť objektov stačí na snímanie krátkymi expozíciami, ktoré kamery zvládajú. Zároveň množstvo snímok vzniknutých takto behom niekoľkých desiatok sekúnd umožňuje následné softwarové spracovanie, zdôrazňujúce detaily prekryté atmosférickým seeingom (viz kapitola 2.4 Dôvody a špecifiká registrácie v astronómii). V našej práci sa sústredíme na využitie webových kamier k snímaniu nočnej oblohy.

1.2.1. Použitie web kamery k astrofotografii

Klasické web kamery nie sú primárne určené na astrofotografiu. Napriek tomu, niektoré web kamery sa na toto využitie hodia lepšie než iné. Všeobecne, pri výbere web kamery je dôležitý snímací senzor. Podobne ako u digitálnych fotoaparátov sa môže jednať o dva typy: CMOS² a CCD. Na astronomické snímanie nie je CMOS senzor všeobecne veľmi vhodný^{[13][14][15][16]}. S týmto typom senzoru je možné občas vyhotoviť obstojné fotografie mesačného povrchu. Väčšina amatérskych astrofotografů však dáva prednosť kamerám so CCD senzorom, ktorý je citlivejší na svetlo a nie je tak náchylný na šum ako CMOS senzor. CCD senzory má aj napríklad Hubblov vesmírny ďalekohľad.

CCD senzor je zariadenie, ktoré spracúva elektrický náboj, ktorý vznikne pôsobením svetelných fotónov dopadajúcich na jednotlivé pixely čipu. Tento náboj je vďaka vnútornému fotoelektrickému javu postupne presúvaný k okraju čipu, kde je elektricky zosilnený a následne spracovaný. Pre astrofotografiu je podstatná (v porovnaní s klasickým fotografovaním na film) ich vyššia citlivosť, rozlíšenie a nižší šum.

Vysoká prahová citlivosť (alebo kvantová účinnosť) CCD senzorov umožňuje i to, že snímky slabých objektov je možné zložiť z rady kratších po sebe idúcich záberov. Tým sa zlepšuje pomer signálu k šumu, úmerne odmocnime počtu vzoriek a zníži sa eventuálny "blooming" (preskakovanie náboja na susedné pixely); hlavné je ale to, že už pri krátkej expozícii je detekovaný i veľmi slabý signál. Ďalšou výhodou je zjednodušenie pointovania snímky. Pokiaľ sú dlhšie expozície dostatočne krátke, je možné pri sčítaní expozícii potlačiť i rotáciu poľa v dôsledku nepresného nastavenia polárnej osi (viz nasledujúca podkapitola).

CCD kamery majú určité limity. Jednotlivý pixel môže spracovať len určité množstvo fotónov pred tým, než je saturovaný a prestane dávať použiteľný výsledok. Moderné CCD kamery môžu pred saturáciou 'zobierať' okolo 80,000 fotónov na pixel. To v praxi znamená, že zariadenia so CCD senzorom môžeme naraz používať približne 4 hodiny pred tým, než sa snímok premení na bielu škvrnu^[15].

Tepelný šum a kozmické žiarenie môžu nepriaznivo pozmeniť pixely na CCD senzore. Na minimalizáciu tohto efektu urobia astronómovia niekoľko snímok s uzavretou uzávierkou. Obrázok spriemerovaný zo snímok vyhotovených so zakrytým objektívom je potrebný na zníženie náhodného šumu. Tento obrázok sa v anglickej literatúre nazýva *dark frame* (tmavý obrázok). Potom, čo je vyhotovený, je následne odčítaný od každej snímky

² CMOS skratka pre Complementary metal–oxide–semiconductor

vyhotovenej s odokrytým objektívom, aby sa z veľkej časti eliminoval vplyv temného prúdu³ a ďalších väd (mŕtve pixely, horúce pixely, apod.) CCD senzoru. Je nutné ho nasnímať za rovnakých podmienok, za akých sa bude snímať nočná obloha a úplne ideálne hneď na začiatku snímania.

Od ich vzniku bolo vyrobených viacero CCD web kamier a skúsenosti astroamatérov ukázali, ktoré z nich dávajú najlepšie výsledky. Populárne boli staršie typy Philips série Vesta Pro, nedávno ich v kvalite predčili trochu lepšie kamery ToUCam Pro a Pro II (modely PCVC730K a PCVC740K). Philips nie je jediný výrobca web kamier, kamery Logitech Quickcam Pro (Quickcam Pro 3000 a 4000) sú takisto vhodné na mesačné a planetárne snímání. Tabuľka v prílohe č.3 uvádza zoznam web kamier viac či menej vhodných na astronomické snímání.

Zariadenia používané v astrofotografii často vyžadujú robustnú montáž na elimináciu vibrácií spôsobených vetrom a ďalšími vplyvmi.

1.2.2. Montáž ďalekohľadu a web kamery

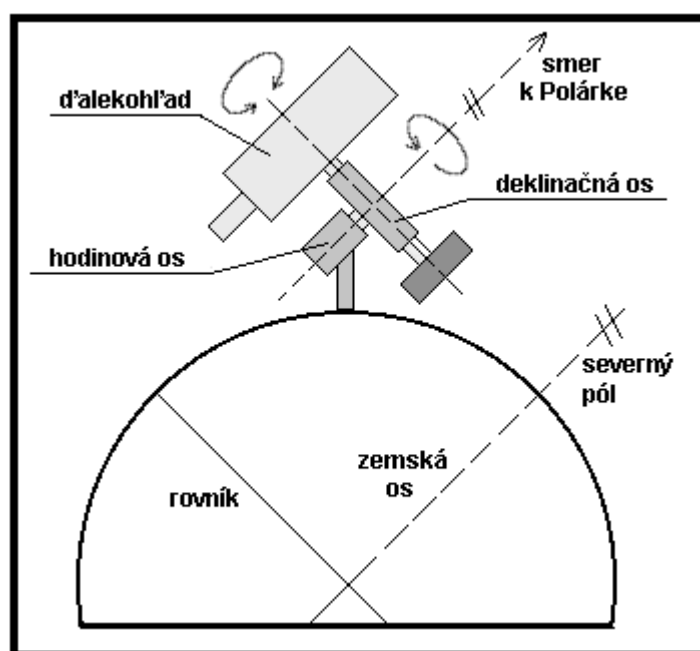
V prípade astrofotografie existuje niekoľko spôsobov a techník, pomocou ktorých môže astronóm-amatér získať zaujímavé snímky astronomických objektov. Každá z nich vyžaduje mierne odlišné vybavenie a skúsenosti. Pomocou ďalších členov je možné optickú sústavu ďalekohľadu prispôbiť, t.j. predĺžiť alebo skrátiť jeho ohniskovú vzdialenosť. Metódy fotografovania hviezdnej oblohy sa podľa spôsobu vykonania expozície rozdeľujú na dva základné typy, a to nepointovanú a pointovanú expozíciu.

Nepointovaná expozícia vyžaduje len minimálne vybavenie, ktoré sa skladá len zo snímacieho zariadenia, a prípadne statívu. Postup fotografovania je jednoduchý – snímacie zariadenie sa umiestni na statív, namieri na oblasť oblohy, ktorú máme v úmysle vyfotografovať a spustí sa snímání. Tento spôsob snímání je vhodný k vyhotovovaniu širokouhlých záberov oblohy ako napr. skupiny súhvezdí, meteorov alebo Mesiaca.

K tomu, aby sme získali hodnotné astrosnímky, musíme odstrániť vplyv rotácie Zeme, a tým dosiahnuť toho, že na výslednej snímke budú i pri dlhých expozíciách zobrazené hviezdy ako body. Spôsobu, akým odstránime vplyv rotácie Zeme, sa hovorí pointovaná expozícia.

³ temný prúd = relatívne malý elektrický prúd, ktorý prúdi fotocitlivým zariadením, aj keď naň nepôsobia žiadne fotóny

Aby sme odstránili vplyv rotácie Zeme, je potreba, aby sa snímací senzor otáčal za hviezdami. Os tohto otáčania musí byť rovnobežná s osou rotácie Zeme, a preto musí jedna os montáže ďalekohľadu mieriť do severného svetového pólu, tzn. v smere ku hviezde Polárke. Pomocou rotácie okolo tejto osi sa dosiahne toho, že senzor, poprípade ďalekohľad so senzorom, bude sledovať zdanlivý pohyb hviezd po oblohe. Rýchlosť rotácie tejto osi (tzv. polárna os) je zhodná s rýchlosťou rotácie Zeme, t.j. približne jedna otočka za 24 hodín. Montáž ďalekohľadu, ktorá má jednu os rovnobežnú s osou Zeme, a preto je vhodná pre pointovanú fotografiu, sa nazýva paralaktická montáž (obrázok č.2).



Obrázok č.2 – Paralaktická montáž

Zdroj: <http://web.quick.cz/frantabilek/astrofoto/metody/metody.html>

Presnosť vedenia ďalekohľadu by mala byť lepšia než je rozlíšenie senzoru v ohniskovej rovine, pre digitálny snímač orientačne 0,005 - 0,01 mm^[17]. Najjednoduchšie je pointovať ručne, sledovaním referenčnej hviezdy v okulári so zámerným krížom a ručnou opravou chodu montáže. Na snímanie dlhých expozícií (napr. galaxie, hmloviny) používajú astronómovia techniku automatického navádzania (auto-guiding). Väčšina používa druhý CCD senzor na monitorovanie odchýliek počas snímania. Tento senzor môže rýchlo zaznamenať chyby v navádzaní a prípadne vyslať príkaz motorom montáže na ich napravenie. Nie je tak potrebný off-axis guider alebo extra hľadáčik a kamera s príslušným softwarom (a montážou) je vcelku sebačistá.

V teréne sa ustavenie montáže môže vykonať buď pomocou polárneho hľadáčika alebo tzv. driftovej metódy. Na vyhotovenie astronomických snímok je možné CCD senzor

umiestniť buď v primárnom ohnisku ďalekohľadu alebo za okulárom, prípadne využiť metódu projekcie či kompresie.

Pri snímaní pomocou senzoru umiestneného v ohnisku ďalekohľadu sa namiesto základného objektívu web kamery použije ako snímací objektív práve objektív ďalekohľadu. Z ďalekohľadu prípadne vyjmeme okulár. Je možné použiť objektív refraktoru alebo zrkadlo Newtonovho alebo iného zrkadlového ďalekohľadu.

Za normálnych okolností je web kamera dodávaná s malým širokouhlým objektívom, ktorý je síce ideálny na svoj pôvodný účel, ale na astrofotografovanie nie je optimálny. Najlepšie výsledky dostaneme odstránením tohto objektívu a pripojením web kamery priamo k teleskopu, ktorý sa stane veľkým teleobjektívom kamery. Je asi vhodné zdôrazniť, že jednoduchosť, s akou sa dá objektív kamery odstrániť, sa líši od modelu k modelu. Napríklad, objektívy na modeloch kamier Philips sa dajú jednoducho odšraubovať, a teda odstrániť, zatiaľ čo na odmontovanie objektívu z kamery Logitech QuickCam Pro (a ďalších) musí byť obal kamery otvorený (čím sa ruší platnosť jej záruky). Za zmienku aj stojí fakt, že odstránenie objektívu na kamere ToUCam zároveň odstráni filter blokujúci infračervené (ďalej len IR) žiarenie.

Pri prechode svetla zo snímaného astronomického objektu zemskou atmosférou dochádza z dôvodu javov atmosferickej disperzie a refrakcie k jeho lomu. Veľkosť lomu závisí nepriamo úmerne na vlnovej dĺžke prichádzajúceho svetla. Pri snímaní astronomických objektov s farebnou CCD web kamerou zaznamenávame jednotlivé RGB kanály. Červené a modré svetlo ležia na opačných koncoch spektra, a teda pôsobením disperzie budú od seba mierne vzdialené. CCD senzory sú na tento posun ešte citlivejšie než ľudské oko. Na elimináciu tohto efektu slúži práve IR filter.

Napriek tomu nie je IR filter zabudovaný vo web kamerách všeobecne pre astrofotografiu potrebný. Filter konzumuje malé, ale citeľné množstvo svetla vo viditeľnom RGB spektre. Jeho odstránenie umožňuje použitie nižšieho nastavenia sily signálu a/alebo expozície, čo znižuje veľkosť šumu. Navyše, každý prechod vzduch/sklo, sklo/vzduch v optickej sústave zhoršuje kvalitu snímky. Je zrejmé, že posun modrej a infračervenej zložky závisí aj na výške objektu nad horizontom. Použitie IR filtru sa odporúča na snímanie objektov pod touto hranicou, pre snímanie nad touto hranicou (t.j. tento posun je menej než jeden pixel na CCD senzore) nie je filter potrebný^[21]. Pri použití tejto metódy montáže web kamery a zrkadlového ďalekohľadu sa neodporúča použitie IR filtru ani pri snímaní objektov vzdialeného vesmíru (*deep sky objects*), kedy sa počíta každý fotón dopadajúci na senzor^[22].

Ako alternatívu k umiestneniu kamery v primárnom ohnisku môžeme umiestniť web kameru i s objektívom pred okulár ďalekohľadu. Preto je možné použiť akúkoľvek kameru, i takú, kde nie je možné odstrániť objektív. Na ďalekohľad zaostrený na fotografovaný objekt sa umiestni web kamera. Svetelné paprsky, ktoré vystupujú z okuláru, sú rovnobežné, preto sa táto metóda nazýva afokálna. Okulár ďalekohľadu spolu s objektívom kamery tvoria projekčnú sústavu. Táto metóda poskytuje veľkú efektívnu ohniskovú vzdialenosť, a preto je vhodná pre snímanie detailov na jasných objektoch ako je Slnko, Mesiak a niektoré planéty.

Metóda pozitívnej projekcie je variantom predchádzajúcej metódy. Použije sa okulár ďalekohľadu, avšak bez objektívu kamery. Okulár poslúži ako optická sústava predlžujúca ohniskovú vzdialenosť, čo prispeje k výraznému nárastu zväčšenia fotografovaného objektu. Výsledná efektívna ohnisková vzdialenosť závisí na ohniskovej vzdialenosti objektívu a okuláru a na vzdialenosti roviny CCD senzoru od okuláru. Pre výpočet výslednej efektívnej vzdialenosti môžeme použiť vzťah:

$$f_{\text{efektívna}} = f_{\text{ob}} * M$$

kde M je tzv. faktor zväčšenia obrazu a platí preň $M = (S - f_{\text{ok}})/f_{\text{ok}}$, f_{ob} je ohnisková vzdialenosť objektívu, S je približná vzdialenosť roviny senzoru od stredu sústavy šošoviek v okulári, f_{ok} je ohnisková vzdialenosť okuláru. Zo vzťahu je zrejmé, že so vzrastajúcou hodnotou S vzrastá i celková ohnisková vzdialenosť sústavy, čím môžeme meniť zväčšenie. Efektívna ohnisková vzdialenosť u tejto metódy môže dosiahnuť i niekoľko desiatok metrov, ale za cenu veľkého zníženia celkovej svetelnosti sústavy. Preto je táto metóda obzvlášť vhodná na fotografovanie tých najjasnejších astronomických objektov, ako je Slnko, Mesiak a jasné planéty, kedy sa môžeme pokúsiť pri veľkom zväčšení obrazu, ktoré nám poskytne táto metóda, o fotografovanie detailov na týchto objektoch.

Metóda negatívnej projekcie predlžuje ohniskovú vzdialenosť objektívu pomocou optickej sústavy so zápornou ohniskovou vzdialenosťou, kedy sa najčastejšie používa Barlowova šošovka⁴. Predĺžením ohniskovej vzdialenosti objektívu získame zväčšenie fotografovaného obrazu, a preto je vhodné ju opäť použiť na fotografovanie jasných objektov, ako napr. Slnka a Mesiaca.

Metóda kompresie ako jediná zo spomínaných metód ohniskovú vzdialenosť skracuje. Tým takisto zväčšuje svetlosť výslednej sústavy, avšak za cenu zmenšenia využiteľného poľa. Preto je jej typické použitie práve pre CCD kamery, ktoré majú malý rozmer čipu.

⁴ Barlowova šošovka = rozptylka vložená medzi objektív a okulár. Predlžuje ohniskovú vzdialenosť objektívu.

Jednoduché schémy pre šošovkový ďalekohľad zobrazujúce spomínané metódy sú v prílohe č.6.

1.2.3. Najčastejšie vady pri snímaní a ich eliminácia

U klasických filmových fotografických materiálov boli známe významné efekty, ktoré sa väčšinou negatívne prejavovali na vyhotovenej snímke. Medzi jeden z najznámejších javov patril tzv. Schwarzschildov jav, spôsobujúci pokles citlivosti filmu pri dlhších expozíciách, obvyklých práve pri astrofotografii. Pri použití digitálnych snímačov sa tento a väčšina ostatných javov neprejavuje, ale prejavujú sa iné efekty. Šum digitálnych senzorov je priamo závislý na dĺžke expozície. Celkový šum má niekoľko pôvodcov.

Šum digitálneho senzoru (*random noise*), t.j. náhodné zmeny signálu, spôsobuje nežiadúce zmeny snímaného obrazu. Zашumená snímka vyzerá ako zrnitá, bodkovaná alebo pokrytá farebnými bodmi. Úroveň šumu je úmerná druhej odmocnine hodnoty signálu.

Ďalšie výrazné vplyvy sú nazývané tiež šumy, ale sú spôsobené vlastnosťami snímačov. Jedná sa hlavne o už spomínaný temný prúd, zosilovací šum (*amplification noise*) a vyčítací šum (*offset*). Zosilovací šum súvisí s nastavením hodnoty ISO a je problematický obzvlášť u modrého kanálu CCD snímačov. Modrý kanál má totiž často nižšiu citlivosť, a preto musí byť ešte pred tým, než sa spojí s červeným a zeleným kanálom, zosilnený. Vyčítací šum závisí na konštrukcii A/D prevodníku, na momentálnej teplote snímača a vyčítacej rýchlosti. Pritom platí, že s rastúcou teplotou alebo s vyššou snímacou rýchlosťou stúpa i miera šumu. Okrem chladenia senzoru, ktoré je drahším riešením, sa ich zbavíme tak, že sa nasníma snímka s minimálnou možnou expozíciou pri zakrytom senzore a táto snímka sa odčíta od foteného obrazu. Offsetový obrázok nie je nutný pre expozície pod jednu sekundu.

Celkový šum nie je možné úplne eliminovať, ale dá sa jeho vplyv znížiť. Veľmi účinná je metóda nasnímania veľkého množstva snímok a ich následné priemerovanie.

Väčšina CCD senzorov obsahuje tzv. horúce pixely, čo sú pixely, ktoré trvalo poskytujú signál. Na potlačenie temného prúdu a eliminovanie horúcich pixelov slúži nasnímanie tmavého obrázka (viz podkapitola 1.2.1 Použitie web kamery k astrofotografii).

Môže sa stať, že pozadie astronomickej snímky nie je rovnomerne osvetlené. Môže to byť spôsobené napr. vinetáciou ďalekohľadu (t.j. úbytkom svetla v rohoch) alebo presvietením časti oblohy mestským osvetlením. Na korekciu nerovnomernej citlivosti CCD senzoru, vinetácie a prachových zrníek sa nasníma snímka rovnomerne osvetlenej bielej

plochy alebo oblohy pri svitaní, kedy už nie sú vidieť hviezdy (tzv. rovnomerné pole, *flat field*⁵). Následne sa touto snímkom snímaná scéna vydolí.

V ideálnom prípade máme teda matice snímky A, tmavého obrázku D, rovnomerného poľa F, offsetového obrázku O. Výsledný snímok A' získame ako

$$A' = \frac{A - D - O}{F - D - O}$$

Ak máme určitý objekt vyfotografovaný aspoň dvakrát, je možné snímky presne umiestniť na seba (t.j. registrovať), a potom ich spriemerovať. Zrornosť jednotlivých snímok, ktorá je náhodná, sa týmto postupom výrazne zníži. V nasledujúcej kapitole sa budeme venovať práve procesu registrácie.

Pri snímaní astronomických objektov sa môžeme stretnúť aj s inými typmi väd, ktoré sú spôsobené optikou, napr. sférická, astigmatismus, koma, chromatická, ktorým sa však bližšie v našej práci venovať nebudeme.

⁵ v našej práci budeme používať pre tento typ obrázku anglický výraz flat-field

2. Kapitola – Registrácia obrazov

Pod registráciou rozumieme proces hľadania geometrickej transformácie medzi dvoma (príp. viacerými) obrazmi rovnakého objektu, ktoré boli urobené v rôznom čase alebo za rozdielnych podmienok, z rôznych uhlov, prípadne pomocou rôznych senzorov. Registrácia je v súčasnosti najviac využívaná v lekárstve (magnetická rezonancia, tomografia), satelitnom snímaní Zeme (hľadanie zmien povrchu, mapy), počítačovom videní (segmentácia, porovnávanie a rozpoznávanie objektov), ai. Naša práca je zameraná na uplatnenie registrácie v astronómii, konkrétne na zlepšenie výslednej kvality snímok astronomických objektov. Táto kapitola sa venuje procesu registrácie. Najprv si pojem registrácie zadefinujeme, popíšeme algoritmus registrácie, uvedieme stručnú klasifikáciu registračných metód a na záver predstavíme dôvody, prečo je nutné registráciu v astronómii používať a čo z toho vyplýva pre nás.

2.1. Formálna definícia registrácie

Majme dva obrázky, ktoré zobrazujú rovnaký objekt, $I_1(x,y)$ (referenčný obrázok, reference) a $I_2(x,y)$ (testovací obrázok, sensed), ktoré si zadefinujeme ako dve dvojdimenzionálne polia danej veľkosti. Potom mapovanie medzi obrázkami môžeme vyjadriť ako:

$$I_1(x, y) = g(I_2(f(x, y)))$$

kde f je 2D priestorová transformácia súradníc, t.j.

$$(x', y') = f(x, y)$$

a g je 1D transformácia intenzít jednotlivých pixelov obrázkov.

Problém registrácie je úlohou hľadania optimálnej transformácie T_{opt} . Majme funkciu P oceňujúcu registráciu, ktorá dva obrázky dostane ako parametre. Ďalej predpokladajme, že optimálna registrácia je dosiahnutá v minime tejto funkcie. Proces registrácie potom môžeme definovať vzťahom:

$$T_{\text{opt}} = \arg \min_{T \in T} P(I_1, T(I_2)),$$

kde T je geometrická transformácia, T je množina všetkých uvažovaných prípustných transformácií, T_{opt} je transformácia, v ktorej funkcia P dosahuje svoje minimum, čím je dosiahnutá optimálna registrácia.

2.2. Algoritmus registrácie

Vzhľadom k tomu, že registrácia sa používa v rôznych odvetviach, a snímky, s ktorými sa pracuje, majú odlišné charakteristiky, nie je možné navrhnúť jednu univerzálnu registračnú metódu. Každý registračný systém musí byť navrhnutý s prihliadnutím na predpokladanú aplikáciu a s ohľadom na charakteristiku spracovávaných dát. Napriek tomu, väčšina registračných metód pozostáva zo štyroch základných krokov^[20]:

- detekcia vhodných príznakov obrázku (*feature detection*) – z obrázkov sú získané množiny príznakov, ktoré sú v ďalšom kroku spracované (hrany, rohy, uzavreté oblasti, a pod.)
- hľadanie korešpondencie medzi význačnými príznakmi nájdenými v prvom kroku v porovnávaných obrázkoch (*feature matching*)
- odhad transformačnej funkcie medzi korešpondenciami (*transform model estimation*) – hľadá sa vhodný typ a parametre tejto tzv. mapujúcej funkcie
- samotná transformácia pomocou mapujúcej funkcie z tretieho kroku (*image resampling and transformation*)

2.3. Klasifikácia registračných metód

V odbornej literatúre sa môžeme stretnúť s rôznymi prístupmi k deleniu registračných metód. Klasifikačnými kritériami môžu byť:

a) spôsob získania obrázkov^[20]:

- dáta získané z rôznych uhlov
- dáta získané v odlišný čas
- dáta z rôznych senzorov
- registrácia modelu a scény

b) prístup k hľadaniu príznakov:

- plošné metódy (*area-based*), niekedy nazývané aj metódy založené na intenzite pixelov (*intensity-based*)

- metódy založené na príznakoch (*feature-based*)
- c) priestor prehľadávaných transformácií:
- globálne metódy (*global*)
 - lokálne metódy (*local*)
- d) použitý transformačný model:
- lineárne transformácie – posun, rotácia, škálovanie, ďalšie afinné transformácie, sú len globálne, nemôžu modelovať lokálne geometrické rozdiely medzi obrázkami
 - nelineárne / elastické transformácie – popisujú lokálne deformácie, patria sem modely používajúce radiálne funkcie (*radial-basis functions*), elastické modely popisujúce deformácie s definovanými vlastnosťami ako viskozita, alebo difeomorfické modely
- e) použitie integrálnych transformácií^[1]:
- priestorové (*spatial*)
 - integrálne transformácie využívajúce Fourierovú transformáciu
- f) úroveň automatizácie:
- manuálne
 - interaktívne
 - poloautomatické
 - automatické

Maintz a Viergever^[3] hrubo rozdeľujú registračné algoritmy podľa 9 základných kritérií, a to podľa dimenzionality (2D/3D), povahy registrácie (nevlastné, vlastné, nezaložené na obrazovej informácii), povahy transformácie (rigidné, afinné, projektívne), domény registrácie (lokálne, globálne), interakcie (interaktívne, polo-automatické, automatické), optimalizačného postupu (metódy počítajúce parametre z dát, metódy hľadajúce parametre v dátach), modality (monomodálne, multimodálne, scéna a model), subjektu (dáta pochádzajúce od jedného subjektu, od viacerých subjektov, atlas) a objektu (časti tela). Všetky kritériá sú podrobne popísané v uvedenom zdroji.

2.4. Dôvody a špecifiká registrácie v astronómii

Registrácia obrazov je jedna z hlavných úloh pri spracovávaní astronomických snímok. Pri získavaní dát je nutné väčšinou nasnímať veľké množstvo snímok toho istého objektu, avšak pôsobením rôznych vplyvov sú tieto jednotlivé snímky voči sebe transformované.

Jeden z hlavných faktorov, ktoré majú výrazný vplyv, je rotácia Zeme. Hviezdy a ďalšie kozmické objekty sa zdanlivo pohybujú na oblohe po kružniciach, ktoré opíšu za zhruba 24 hodín. Zdanlivý pohyb objektu po oblohe má dĺžku úmernú kosínu jeho deklinácie⁶. Rýchlosť zdanlivého pohybu nebeského objektu je teda $\cos \delta \times 15^\circ/\text{hr} = 15'/\text{min} = 15''/\text{s}$, t.j. v porovnaní uhlového priemeru: Mesiac sa posunie o svoj uhlový priemer (0.5°) za 2 minúty, najväčšie planéty cca 4 sekundy^[10].

Keďže s obyčajným statívom nie je možné docieľiť toho, aby sa pohybujúce objekty nerozmazali, pri fotografovaní dlhých expozícií sa používa zariadenie, ktoré dokáže kompenzovať rotáciu Zeme - paralaktická montáž. Nepresnosť chodu montáže však stále môže spôsobovať posun jednotlivých snímok a ich registrácia je stále nutná.

Tu by bolo vhodné spomenúť aj jav aberácie, kedy dochádza k odchýleniu svetelného paprsku prichádzajúceho od pozorovaného objektu k pozorovateľovi, ktoré je spôsobené konečnou rýchlosťou svetla, pohybom pozorovaného objektu a pohybom pozorovateľa. Tento jav je možné pozorovať pri ročnom pohybe Zeme okolo Slnka. Pri pohybe dochádza v dôsledku aberácie ku zmene uhlu, pod ktorým sa voči Zemi pohybujú paprsky svetla jednotlivých hviezd. Pohyb Zeme okolo Slnka teda spôsobuje zdanlivý pohyb hviezd vzhľadom k pozorovateľovi. Vplyvom tohto javu sú na dvoch snímkach toho istého objektu vyhotovených vo väčšom časovom rozmedzí, napr. keď boli nízko nad horizontom, a neskôr, nachádzajúce sa vplyvom pohybu Zeme vyššie nad obzorom, objekty posunuté nielen celkovo, ale pôsobením aberácie sú posunuté i voči sebe navzájom (obzvlášť blízko horizontu).

So súčasnou technikou nie je problém vyhotoviť snímky s rozlíšením desatiny uhlovej sekundy na pixel, avšak v praxi je takéto detaily dosiahnuť veľmi obtiažne. Dôvodom je zemská atmosféra, ktorá ohýba svetelné vlny a teda deformuje signál. Tento jav sa nazýva *seeing* a je jedným z najväčších úskalí astronomickej fotografie. Na redukciu tohto javu sa v amatérskej astronomickej fotografii (okrem drahých adaptívnych optických sústav

⁶ Deklinácia = súradnica v systéme rovníkových súradníc, ktorá udáva uhlovú vzdialenosť od svetového rovníka, meria sa stupňoch, minútach a sekundách

v teleskopoch) využíva hlavne technika nazývaná „lucky imaging“, kedy sa vyhotoví práve veľké množstvo snímok, z ktorých sa vyberú najlepšie snímky na ďalšie spracovanie. Táto technika v mnohých prípadoch môže v kvalite predčiť adaptívnu optiku, má však nevýhodu tú, že vyžaduje omnoho dlhšie pozorovania na zachytenie slabých objektov a má limitované maximálne rozlíšenie.

Snímky z digitálneho fotoaparátu môžu vyžadovať ďalší post-processing na minimalizáciu šumu spôsobeného dlhými expozičnými časmi, na zvýraznenie slabých objektov na obrázkoch s chabým pomerom signál/šum, na odčítanie tmavého obrázku, odfiltrovanie svetelného znečistenia, alebo použitie metódy nazývanej stohovanie obrázkov (image-stacking, shift-and-add). K dispozícii je dostupných viacero bezplatných profesionálnych softwarov špecializujúcich sa na takúto manipuláciu s astronomickými obrázkami.

V nasledujúcej kapitole sa budeme venovať nášmu programu AstroCam, ktorý umožňuje nasnímať a uložiť veľké množstvo astronomických obrázkov a následne spracovať pomocou vybranej metódy registrácie. Keďže registračná časť práce bude zameraná predovšetkým na spracovanie snímok získaných v snímacej časti, predpokladáme, že sa budú spracovávať snímky získané v sekvenčnom poradí (time series), a teda vo veľkej miere pôjde o snímky, na ktorých je zobrazený objekt posunutý o malú hodnotu v určitom smere. Môžeme teda predpokladať, že z pohľadu použitého transformačného modelu pôjde hlavne o lineárnu transformáciu, predovšetkým transláciu, z hľadiska priestoru prehladávaných transformácií využijeme globálne metódy. Tomu je prispôsobený aj algoritmus hľadania korešpondencií význačných bodov, kde vďaka tomuto predpokladu algoritmus pracuje rýchlejšie.

3. Kapitola – Implementácia

V tejto kapitole si stručne si predstavíme snímáciu časť softwaru a popíšeme jednotlivé kroky registrácie v našej práci podrobnejšie. Pre každý krok najprv uvedieme stručný teoretický úvod do problematiky a potom predstavíme, ako je ten-daný krok riešený v našom programe. Snímacia časť má za cieľ umožniť užívateľovi vyhotoviť a uložiť snímky astronomických objektov. V registračnej časti potom užívateľ môže získané snímky zregistrovať, a tým zlepšiť ich výslednú kvalitu.

Snímacia časť – AstroCam

Pre úplné využitie funkčnosti tejto časti programu je potrebný počítač s nainštalovaným softwarom, pripojenou web kamerou a ďalekohľad. Presný spôsob montáže web kamery a ďalekohľadu nechávame na užívateľovi, je však možné použiť jednu z metód popísaných v podkapitole 1.2.2 Montáž ďalekohľadu a web kamery.

Hneď po spustení programu je signál z web kamery prenášaný do počítača, kde je v okne zobrazený, čo práve kamera sníma. V prípade, že je software spustený na počítači, ku ktorému sú pripojené dve web kamery (napr. externá a vstavaná), obraz sa prenáša z externej kamery.

Pred samotným snímaním astronomického objektu má užívateľ možnosť využiť funkciu nasnímania čierneho obrázku pri zakrytom objektíve, ktorý zvýrazní prípadné chybné body snímajúceho CCD senzoru. Užívateľ má možnosť nasnímať buď jeden tmavý obrázok získaný ako vážený priemer snímok za určité užívateľom zadané časové obdobie, alebo sériu určitého počtu snímok, ktoré sa následne spracujú v registračnej časti. Následne užívateľ zadá v ovládacom paneli želané nastavenia (t.j. kontrast, jas, silu signálu, saturáciu, počet snímok). Pre snímanie má možnosť si vybrať, či použije funkciu priemerovania na zlepšenie kvality objektu snímaného web kamerou. Zároveň môže využiť funkciu odčítania už nasnímaného čierneho obrázka, a tým „odčítať“ prípadné chyby“ senzoru kamery, resp. šum. Bola implementovaná aj možnosť zaozoomovania zobrazeného objektu, pričom má užívateľ možnosť si vybrať z dvoch metód interpolácie.

Pre samotné snímanie môže užívateľ zadať konkrétny počet snímok, ktoré majú byť vyhotovené. V prípade nezadania počtu snímok beží po spustení snímania toto po dobu, pokiaľ užívateľ snímanie manuálne nezastaví. Snímky sa ukladajú vo formáte .bmp do užívateľom zadaného adresára. Všetky zadané parametre (jas, kontrast, atď.) snímania sú

spolu s názvom snímky, dátumom, presným časom a prípadnou poznámkou ukladané do súboru, ktorý sa defaultne nachádza v domovskom adresári. Ako názov snímky je vhodné zadať, o aký fotografovaný objekt sa jedná, prípadne, či sa jedná o nasnímaný tmavý alebo flat-field obrázok. Do poznámky potom prípadné ďalšie externé parametre snímania (napr. nastavený zoom na ďalekohľade), potrebné pre eventuálne zrekonštruovanie rovnakých podmienok snímania v iný časový úsek (deň).

Snímky astronomických objektov získané v tejto časti bude následne možné spracovať v druhej, registračnej časti.

Registračná časť – AstroRegistration: rozbor jednotlivých krokov registrácie

V registračnej časti našej práce boli implementované dva prístupy k registrácii obrazov. Prvý prístup je zameraný na registráciu založenú na hľadaní význačných bodov v jednotlivých vstupných obrázkoch a korešpondencií medzi nimi, t.j. registráciu založenú na príznakoch (*feature-based*). Druhý prístup implementuje jednu z registračných metód založených na intenzite jednotlivých obrazových bodov (*intensity-based*).

Užívateľ má možnosť načítať do programu nasnímané obrázky (všetky zo zadaného adresára alebo jednotlivo) a tmavý obrázok (prípadne sériu) na ďalšie spracovanie.

3.1. Registrácia založená na príznakoch

3.1.1. Detekcia príznakov (1.krok registrácie)

V 1.kroku sa hľadajú tzv. význačné body (control points, keypoints, interest points). Význačným bodom chápeme bod v obraze, ktorý má pevne danú pozíciu a je ho vždy možné dobre detekovať. Môže to byť napr. roh, izolovaný bod, ťažisko uzavretej oblasti, zakončenie čiary, alebo bod, ktorý je súčasťou nejakej krivky, ktorej zakrivenie v danom bode dosahuje lokálne maximum. Žiadanými vlastnosťami význačných bodov sú výraznosť a detektability, robustnosť voči obrazovým degradáciám, ich dostatočný výskyt v obrázku, a skutočnosť, že vo všetkých registrovaných obrázkoch je dostatok spoločných príznakov.

Shi a Thomasi^[4] navrhujú hľadanie tzv. „good features to track“ a následne použitie kombinácie posunu a afinnej transformácie na sledovanie týchto bodov v sekvencii obrázkov.

K analýze lokálneho správania sa 2D/3D obrázku I vo všeobecnom prípade^[5] môžeme využiť Taylorov rozvoj v okolí bodu x_0 :

$$I(x_o + \Delta x) \approx I(x_o) + \Delta x^T \nabla I(x_o) + \frac{1}{2} \Delta x^T H(x_o) \Delta x$$

kde ∇I je gradient a H predstavuje Hessovu maticu druhých parciálnych derivácií obrazu I . Z hľadiska hľadania význačných bodov sú dôležité vlastné čísla λ_1, λ_2 Hessovej matice.

- ak $\lambda_1 \approx 0$ a $\lambda_2 \approx 0$, potom daný pixel neobsahuje žiadne zaujímavé príznaky
- ak $\lambda_1 \approx 0$ a λ_2 má veľkú kladnú hodnotu, bola nájdená hrana
- ak λ_1 a λ_2 majú veľké kladné hodnoty, bol nájdený roh

Na zjednodušenie výpočtu sa môže použiť vzťah:

$$\lambda_1 \lambda_2 - \kappa (\lambda_1 + \lambda_2)^2 = \det(H) - \kappa \text{Tr}^2(H) \quad (*)$$

kde κ je voliteľný parameter, $\text{Tr}(H)$ je stopa Hessovej matice.

Druhý prístup^[6] uvažuje hľadanie význačných bodov aplikáciou sekvencie gaussovských filtrov a algebraických operácií, pomocou ktorých je možné vypočítať Hessovu maticu a tzv. obrázky vlastných čísel (*eigenvalue images*). Vstupom algoritmu je obrázok a veľkosť bloku, v ktorom sa budú počítať vlastné čísla a vlastné vektory. Následne pre každý pixel sa v okolí veľkosť_bloku \times veľkosť_bloku počíta Hessova kovariačná matica derivácií.

Vlastné čísla λ_1 a λ_2 sa následne vypočítajú podľa vzťahu:

$$\lambda_{1,2}(x) = \frac{a_{11} + a_{22} \pm \sqrt{(a_{11} - a_{22})^2 + 4a_{12}a_{21}}}{2}$$

kde a_{ij} sú prvky Hessovej matice.

Výstupom algoritmu je tzv. *eigenvalue image*, v ktorom sú uložené vlastné čísla λ_1, λ_2 a vlastné vektory x_1, y_1 prislúchajúce číslu λ_1 a x_2, y_2 prislúchajúce číslu λ_2 . Na záver sa z dvojice (λ_1, λ_2) vyberie minimum. Potom, čo bol minimálny eigenvalue image vypočítaný, jeho lokálne maximá sú kandidáti na význačné body.

V našom programe sa o hľadanie význačných bodov stará optimalizovaná funkcia knižnice OpenCV `GoodFeaturesToTrack` s parametrami:

```
int maxFeaturesPerChannel .. maximálny počet hľadaných význačných bodov,
                           parameter zadáva užívateľ
```

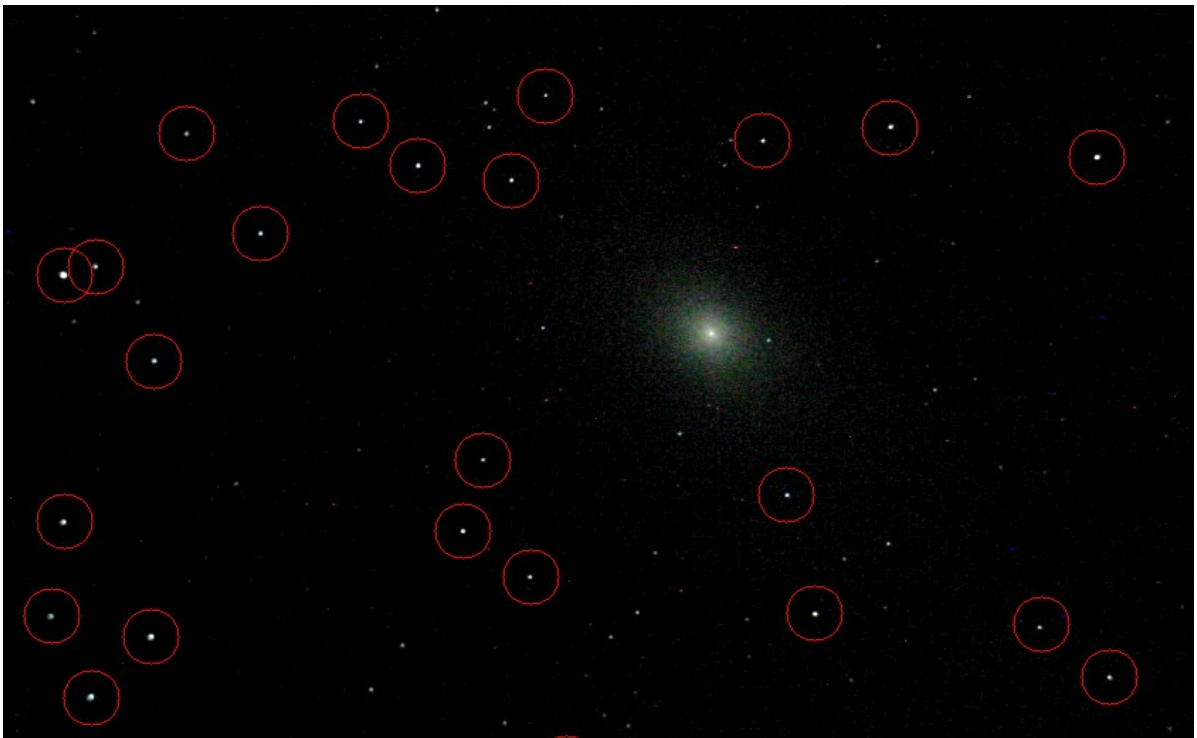

double qualityLevel	násobok pre max/min vlastné číslo, špecifikuje minimálnu akceptovanú kvalitu príznakov
double minDistance	minimálna možná vzdialenosť medzi príznakmi
int blockSize	veľkosť bloku
bool useHarris	boolovská premenná, použitie Harrisovho detektoru rohov
double k	parameter κ Harrisovho detektoru zo vzťahu (*)

Táto funkcia nájde príznaky (rohy) s veľkými hodnotami vlastných čísel. Najprv vypočíta minimálne vlastné číslo pre každý pixel zdrojového obrázka pomocou funkcie knižnice OpenCV `CornerMinEigenVal`. Následne vykoná potlačenie nemaximových hodnôt (zachované sú len lokálne maximá v okolí). V ďalšom kroku zamietne príznaky s minimálnou hodnotou vlastného čísla menšou, než `qualityLevel . max(eigImage(x,y))`. Nakoniec sa zaistí, že vzdialenosť medzi ktorýmkoľvek dvoma príznakmi nie je menšia než `minDistance`.

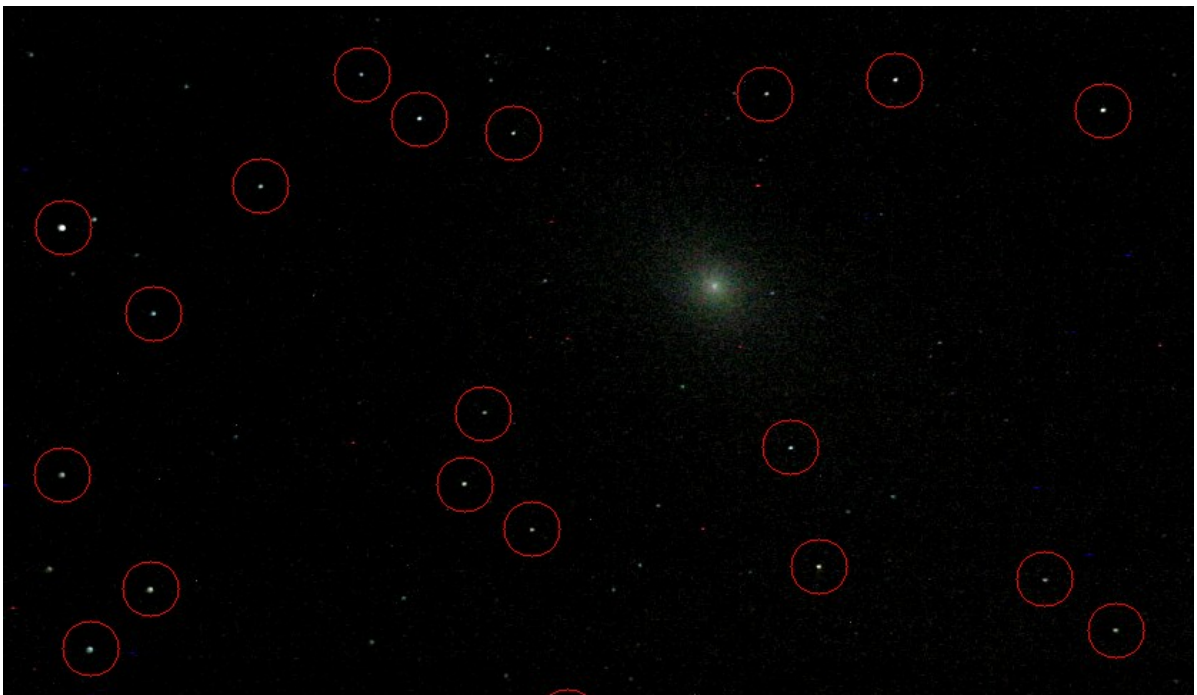
Premenná `useHarris` určuje, či sa pri hľadaní význačných bodov uplatní Harrisov hranový detektor, ktorého výstupom je obrázok obsahujúci hodnoty vypočítané podľa vzťahu (*). Rohmi sú v tomto výstupnom obrázku lokálne maximá. Defaultne je v našom programe táto premenná nastavená na `false`, teda pri hľadaní význačných bodov sa používa druhý prístup z úvodu kapitoly, ktorý je implementovaný už spomínanou funkciou `CornerMinEigenVal`. Počítame teda pre každý pixel len minimálnu hodnotu vlastného čísla kovariačnej matice.

Na výstup funkcie `GoodFeaturesToTrack` je zavolaná funkcia `FindCornerSubPix`, ktorej výstupom je spresnená subpixelová pozícia každého nájdeného význačného bodu, t.j. pre každý z nájdených bodov vydá jeho presnú x-ovú a y-ovú súradnicu. Súradnice sú uložené v dátovej štruktúre `List<PointF> points1` pre referenčný obrázok (`source`) a `points2` pre každý následný testovaný obrázok. V nasledujúcom kroku algoritmu sa práve nájdené body párujú.

Obrázky 3a a 3b zobrazujú nájdené význačné body (červené krúžky) na dvoch snímkach galaxie M31 v Andromede nasnímaných s odstupom 7 minút.



Obrázok 3a: význačné body nájdené programom AstroCam na snímku galaxie M31
 Zdroj: výstup programu AstroCam, vlastné spracovanie, výrez centrálnej časti



Obrázok 3b: nájdené význačné body na snímku galaxie M31 vyfotografovanom o 7 minút neskôr. Pri bližšom pohľade si môžeme všimnúť, že nie všetky nájdené body na týchto dvoch snímkach sú spárované správne a tieto nezhody bude nutné eliminovať.
 Zdroj: výstup programu AstroCam, vlastné spracovanie, výrez centrálnej časti

3.1.2. Hľadanie korešpondencie medzi nájdenými príznakmi (2.krok)

V 2.kroku registrácie sa hľadajú korešpondencie medzi nájdenými bodmi v referenčnom a testovanom obrázku. Keďže výpočet korektnej transformácie závisí na týchto bodoch, musí byť detekovaný ich dostatočný počet. Na druhej strane, príliš veľa význačných bodov urobí z hľadania korešpondencie zbytočne zložitú úlohu. Správny počet nájdených príznakov má vplyv na presnosť a efektivitu párovania.

Pre väčšinu prípadov postačuje registrácia vyžadujúca len transláciu (posun), ako napr. tzv. *template matching*. Obyčajne s manuálnou registráciou sa používa krížová korelácia (*cross-correlation*), keďže je testovaný obrázok dostatočne malý. Pri automatickej registrácii sa korešpondencie určia na základe vlastností týchto príznakov, ako napr. zakrivenie alebo smer hlavných osí. Medzi ďalšie techniky patria zhlukovanie (*clustering*), relaxácia (*relaxation*), matchovanie minimálnych kostier množín príznakov z referenčného a testovaného obrázku (*matching of minimum spanning trees*) a párovanie hrán konvexného obalu (*matching of convex hull edges*) týchto dvoch množín.

Metóda relaxácie sa môže použiť na registráciu obrázkov voči sebe posunutých. V tomto prípade sú úlohy párovania bodov a výberu najlepšej transformácie riešené simultánne. Každý príznak z testovaného obrázku sa označí rovnakou značkou, ako je značka korešpondujúceho príznaku zo zdrojového obrázku, a to tak, aby bolo toto značenie konzistentné so značením daným všetkým ostatným párom bodov. Proces rekalkulácie ohodnotenia jednotlivých párov je iteratívne opakovaný, až kým nenastane stabilný stav, pričom sa priebežne vyhodnocuje kvalita párov príznakov a párovania ich susedov. Základný algoritmus relaxácie bol rozšírený zahrnutím popisu rohových príznakov, ako napr. ostrosť, kontrast, sklon rohu, čo umožnilo spracovať obrázky transformované posunutím a rotáciou; toto rozšírenie je však výpočtovo náročné^[8].

Metóda zhlukovania pracuje s pomyselnými spojnicami medzi nájdenými príznakmi. Pre každý pár nájdených príznakov sú parametre transformácie, ktorá tie body mapuje na seba reprezentované ako bod v priestore transformačných parametrov. Parametre, ktoré blízko ku sebe mapujú najväčší počet príznakov, zvyknú sformovať zhluky, zatiaľ čo nezhody vyplňajú priestor transformácií náhodne. Parametre mapujúcej funkcie sú teda nájdené simultánne s príznakovou korešpondenciou. Lokálne chyby registráciu globálne neovplyvňujú.

Barrow et al prišiel s fáškovým párovaním (*chamfer matching*). Líniové príznaky nájdené v obrázkoch sú párované cez minimalizáciu vzdialenosti medzi nimi.

Potom, čo boli v prvom kroku nájdené význačné body v referenčnom a testovanom obrázku, je teda nutné nájsť k sebe patriace páry. Ako už bolo spomínané v predchádzajúcom kroku, u každého bodu poznáme jeho subpixelovú x-ovú a y-ovú súradnicu. Korešpondencia sa hľadá cez minimalizáciu vzdialeností nájdených bodov. Pre každý bod v referenčnom obrázku sa hľadá najbližší bod v testovanom obrázku. Využívame pri tom predpoklad, že sa v našom programe registrujú astronomické snímky, ktoré boli nadobudnuté v snímacej fáze v sekvenčnom poradí, a teda sú zobrazené objekty len voči sebe posunuté. Následne sa vypočíta priemerný posun v x-ovej a y-ovej ose cez štatistickú veličinu modus. Najčastejšie sa vyskytujúcu hodnotu berieme ako najpravdepodobnejší posun medzi dvoma porovnávanými obrázkami. Môže sa stať, že sa v prvom kroku v jednom obrázku nájdú príznaky, ktoré v druhom obrázku k sebe nemajú pár (tzv. *outliers*). Za nezhodu vyhlásime bod, ktorý je vzdialený od priemerného posunu o viac ako jeden pixel. Tieto prípady sa týmto spôsobom detekujú a dané body sa zo zoznamu vyhodia.



Obrázok č.4: korešpondencie nájdené na dvoch snímkach galaxie M31 použité ako príklad v 1.kroku (vstupné snímky položené nad seba)

Zdroj: výstup programu AstroCam, vlastné spracovanie

3.1.3. Odhad transformačnej funkcie medzi korešpondenciami a samotná transformácia pomocou mapujúcej funkcie (3. a 4. krok)

Po nájdení korešpondencií prichádza na rad výber najvhodnejšej transformačnej funkcie a jej parametrov. Ako už bolo spomínané, v našom prípade sa stretneme len s rigidnými transformáciami, a to hlavne transláciou (posunom). V tomto kroku registračného procesu už vieme, o koľko sú od seba obrázky navzájom posunuté.

Na transformáciu testovaného obrázku na referenčný nám stačí vynásobiť data testovaného obrázku s maticou posunu M o rozmeroch 2×3 :

$$M = \{ \{1, 0, \text{meanX}\}, \{0, 1, \text{meanY}\} \}$$

kde meanX je priemerný posun v x-ovej súradnici a meanY je priemerný posun v y-ovej súradnici vypočítané v predchádzajúcom kroku.

V našom programe sa v prípade registrácie založenej na príznakoch (feature-based registration) transformačná matica počíta so subpixelovou presnosťou pomocou funkcie OpenCV `cvGetAffineTransform` s parametrami:

`PointF[] src` zoznam nájdených význačných bodov v referenčnom obrázku

`PointF[] dst` zoznam korešpondujúcich bodov v testovanom obrázku

`IntPtr mapMatrix` vypočítaná transformačná matica rozmerov 2×3

Funkcii `cvGetAffineTransform` stačia na výpočet 3 páry korešpondujúcich bodov. To má avšak zároveň nevýhodu tú, že táto metóda registrácie sa nehodí na tie typy snímok, kde sa nenachádza veľa význačných príznakov (napr. snímky planét v malom rozlíšení, snímky dvojhviezd, atď.). V tomto prípade je lepšie zvoliť druhú implementovanú metódu.

Prvý načítaný obrázok zo zoznamu registrovaných obrázkov sa vždy berie ako referenčný. Všetky ďalšie načítané obrázky sa berú ako testované. Počas transformácie transformujeme každý testovaný obrázok na súradnice referenčného obrázka. Samotná transformácia sa robí pomocou funkcie OpenCV `cvWarpAffine` s parametrami:

`IntPtr src` testovaný obrázok, ktorý bude transformovaný

`IntPtr dst` cieľový obrázok

`IntPtr mapMatrix` matica transformácie vypočítaná funkciou
`cvGetAffineTransform`

int flags voliteľný parameter určujúci interpolačnú metódu
MCvScalar fillval farba, ktorou budú vyplnené prázdne plochy po transformácii,
defaultne nula, t.j. čierna

Potom, čo sme transformovali testovaný obrázok na súradnice referenčného, zostáva posledný krok, a to spriemerovanie obidvoch obrázkov do jedného na splnenie cieľa registrácie – zlepšenie výslednej kvality získaných snímok. Priemerovanie robí funkcia OpenCV cvRunningAvg, ktorá zoberie testovaný obrázok a podľa vzťahu

$$\text{accumulator}(x, y) = (1 - \alpha) * \text{accumulator}(x, y) + \alpha * \text{testImage}(x, y) \quad (**)$$

ho pridá do akumulátoru, ktorý slúži ako výsledný spriemerovaný obrázok, kde alpha je konštanta medzi 0.0 a 1.0 určujúca kvalitu priemerovania.

3.2. Registrácia založená na intenzite

Na obrázky, ktoré neobsahujú silné príznaky, môže byť efektívnejšie použitie metód založených na intenzite, tzv. template matching. Táto metóda používa na porovnávanie intenzít jasú štatistickú veličinu korelácie. Krížová korelácia je základná metóda na zistenie podobnosti dvoch signálov. V našom prípade sú signálmi jasové hodnoty pixelov v dvojrozmernom priestore. Metóda porovnáva daný vzor s oknom rovnakej veľkosti v referenčnom obraze, kde ako hľadaný vzor sa použije testovaný obraz. Pre každú aktuálnu pozíciu vzoru počítame stupeň podobnosti obrazov pri aktuálnom prekrytí. Následne získame hodnoty podobnosti obrazov pre posunutie vo všetkých možných smeroch. Nájdením maximálnej hodnoty a jej pozície v referenčnom obraze určíme potrebné posunutie obrazov.

Jedna z metód výpočtu podobnosti je normalizovaná krížová korelácia (ďalej len NCC), kde normalizované vstupné obrazy dostaneme odčítaním priemeru a následne vydelením štandardnou odchýlkou. NCC je v porovnaní so štandardnou krížovou koreláciou robustnejšia a je invariantná voči veľkým zmenám hodnôt jasú v zdrojovom a porovnávanom obrázku spôsobeným odlišnými podmienkami pri snímaní. Na druhej strane nevýhodou NCC je, že nie je invariantná ku zmenám merítka, rotácii a perspektívnej transformácii. Pri vhodnej konštrukcii a nastavení teleskopu pri snímaní sa týmto problémom môžeme z veľkej časti vyhnúť. To je hlavný dôvod, prečo sme pre

implementáciu v našom programe zvolili práve metódu normalizovanej krížovej korelácie. Koeficient NCC môže nadobúdať hodnoty od -1 do 1.

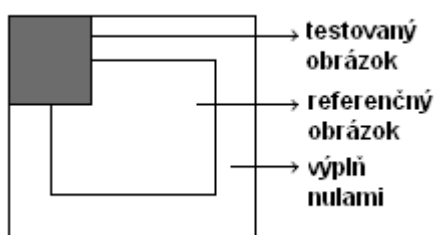
Výpočet podobnosti je daný vzorcom^[9]:

$$R(x, y) = \frac{\sum_{x', y'} (T(x', y') \cdot I'(x + x', y + y'))}{\sqrt{\sum_{x', y'} T(x', y')^2 \cdot \sum_{x', y'} I(x + x', y + y')^2}} \quad (***)$$

kde R je výstup (výsledný obraz), T je testovaný obraz (vzor), I je referenčný obraz, $x' = 0 \dots \text{šírka vzoru} - 1$, $y' = 0 \dots \text{výška vzoru} - 1$

Implementovaný algoritmus registrácie založenej na normalizovanej krížovej korelácii:

1. načítanie referenčného a testovaného obrázka
2. vyplnenie okrajov referenčného obrázka nulami a jeho uloženie do akumulátora. Sarvaiya et al.^[18] navrhujú oblasť veľkosti takej, že stred testovaného obrázka padne na prvý pixel referenčného obrázka. Keďže v našej práci predpokladáme registráciu snímok rovnakej veľkosti, je zrejmé, že toto navrhované zväčšenie referenčného obrázka by znamenalo dvojnásobné rozšírenie jeho rozmerov. Štandardný výstup web kamier sa pohybuje približne okolo hodnôt 640x 400, čo by znamenalo rozšírenie na rozmery 1280x800, čo je ešte stále únosné. Zároveň však z predpokladu vieme, že sa registrujú snímky posunuté o malú konštantu. To znamená, že zväčšenie až o 100 % nie je nutné. Výber veľkosti plochy referenčného obrázka, ktorá bude doplnená, nechávame na užívateľovi programu.



Obrázok č.5: výplň nulami v 2.kroku algoritmu NCC
Zdroj: [18]

3. posun masky (testovaného obrázka) po novovytvorenom referenčnom obraze a výpočet hodnôt vo vzťahu (***) pre každú pozíciu testovaného obrázka
4. nájdenie pozície najväčšej hodnoty koeficientu NCC vypočítaného v 3.kroku algoritmu

5. posun testovaného obrázka do súradníc zistených v predchádzajúcom kroku a spriemerovanie testovaného obrázka a akumulátora, uloženie spriemerovaného obrázka do akumulátora. Priemerovanie sa počíta podľa vzťahu (**).
6. opakovanie krokov 3 až 5 pre každý testovaný obrázok.

Výstup registrácie je po skončení algoritmu uložený v akumulátore a zobrazený v okne programu. Tento je možné následne uložiť do zvoleného adresára. Dĺžka trvania registrácie je priamo úmerná počtu a veľkosti registrovaných obrázkov a zvolenej veľkosti referenčného obrazu.

3.3. Porovnanie zvolených registračných metód

Na testovanie presnosti a náročnosti zvolených metód bolo použitých niekoľko typov testovacích dát. Boli použité 2 typy testovacích dát:

- obrázky, ktoré mali veľké množstvo význačných bodov (napr. snímky nočnej oblohy s množstvom hviezd, galaxií, detailné snímky povrchu Mesiaca), a naopak
- snímky bez význačných bodov, resp. s ich malým počtom (snímky Saturnu, dvojhviezdy Mizar-Alcor).

Keďže metóda založená na príznakoch potrebuje na konštrukciu transformačnej funkcie aspoň 3 páry korešpondujúcich bodov, táto metóda nie je dobre použiteľná na druhej skupine testovacích dát. To znamená, že sa jej použitie hodí skôr na snímky obsahujúce význačné príznaky, napr. detailné snímky Mesiaca, Slnka, súhvezdia, a pod. Jej výhoda oproti druhej metóde spočíva v tom, že je použiteľná aj na sekvenčné snímky, ktoré sú voči sebe mierne rotované (rotácia môže byť spôsobená napr. nepresnou montážou d'alekohľadu). Maximálna rotácia, kedy ešte nedochádza k nepresnostiam v párovaní bodov, je 5 %, čo je v prípade nepresností montáže viac než dostatočný limit. Všetky vstupné snímky musia mať rovnakú veľkosť. Naopak, metóda založená na NCC je použiteľná na druhej skupine dát, na ktoré nie je možné aplikovať 1.prístup.

Obidve implementované metódy prechádzajú v cykle všetky načítané obrázky. Z hľadiska pamäťovej náročnosti vyžaduje prvá metóda alokáciu pamäti na tri obrázky typu byte (referenčný, testovací a dočasný na transformáciu testovacieho na súradnice referenčného) a dva obrázky typu float (nutné pre priemerovanie – akumulátor). Všetky alokované obrázky majú rovnakú veľkosť (vstupných snímok). Metóda NCC vyžaduje alokáciu pamäti na dva obrázky veľkosti vstupných dát (referenčný a testovací) a tri obrázky veľkosti 101 – 200 % z pôvodnej veľkosti referenčného. To znamená, že metóda NCC je

náročnejšia na pamäť. Až do nastavenia hodnoty 110 % veľkosti referenčného obrazu je časovo rýchlejšia než metóda založená na hľadaní a párovaní príznakov, po prekročení tejto hranice stráca túto svoju výhodu.

4. Kapitola – Architektúra softwaru AstroCam

V tejto kapitole predstavíme predpoklady, ktoré ovplyvnili návrh softwaru AstroCam a základnú kostru jeho konečnej štruktúry z programátorského hľadiska. Postup inštalácie softwaru, podrobná užívateľská a programátorská dokumentácia sú k dispozícii v apendixe B, prílohy č.1 a č.2.

Ako cieľová platforma bol zvolený operačný systém Windows XP a vyššie. Pre vývoj softwarovej časti bolo využité vývojové prostredie Microsoft Visual Studio 2008, programovacím jazykom bol zvolený C#.

4.1. *Predpoklady ovplyvňujúce návrh programu*

Keďže cieľom práce bolo vytvorenie programu, ktorý by umožnil jednak nasnímanie astronomických objektov pomocou web kamery a jednak spracovanie vyhotovených snímok, bolo od začiatku návrhu programu zrejmé, že ho bude vhodné implementačne rozdeliť do dvoch samostatných častí. Zároveň bolo našim zámerom vytvoriť prakticky použiteľný software, ktorý bude jednoduchý na ovládanie, keďže sa s ním bude pracovať predovšetkým v teréne a v tme. Tomuto zámeru bol uspôsobený dizajn užívateľského rozhrania, ktorý je ladený do tmavých farieb, aby užívateľa pracujúceho v tme zbytočne neoslňoval.

Program je teda rozdelený na dve samostatné časti, ktoré síce fungujú nezávisle, ale dizajnom aj náväznosťou tvoria jeden celok. Návrh algoritmov použitých v registračnej časti programu predpokladal, že sa budú spracovávať snímky získané predovšetkým v snímacej časti programu, tzn. že vstupom registračnej časti budú snímky:

- v sekvenčnom poradí, hlavný transformačný model registrácie bude predovšetkým translácia, čo ovplyvnilo algoritmus hľadania korešpondencií príznakov vo vstupných obrázkoch,
- získané z kvalitne ustavenej paralaktickej montáže, takže nebudú navzájom voči sebe rotované o viac ako 5°,
- pochádzajúce z web kamery (t.j. relatívne malého rozlíšenia), čo malo vplyv na algoritmus registrácie založenej na intenzite bodov vstupných obrázkov,
- ktoré sú vo formáte .bmp. Naš program síce spracuje snímky i vo formátoch .jpg, .gif a .png, nespracuje však snímky v iných formátoch (tzn. napr. formát RAW).

Tieto predpoklady ovplyvnili výber implementovaných registračných metód. Očakávaný transformačný model spôsobil zamietnutie implementácie nelineárnych (elastických) transformácií a registrácie založenej na Fourierovej transformácii. Návrh zároveň bral na zreteľ poznatky získané v rešeršnej fáze práce a ktoré boli zhrnuté predovšetkým v podkapitolách 1.2.3 a 2.4.

Niektoré konkrétnejšie podproblémy už boli neraz riešené inými autormi a sú k dispozícii vo forme voľne šíriteľných programových knižníc. Zhodnotili sme, že o funkčnosť častí programu, ktoré nevyžadovali našu originálnu implementáciu, sa bude starať podporná knižnica pod maximálne flexibilnou licenciou. Pri výbere knižnice zohrala úlohu aj ponúkaná funkčnosť a špecializácia na riešenie úloh z oblasti spracovania obrazu a podpora nami vybraného programovacieho jazyka. Nakoniec bola zvolená ako hlavná podporná knižnica EmguCV, čo je wrapper knižnice Open CV pre jazyk C#, ktorej prínos je znásobený optimalizáciami pre inštrukčné sady všetkých novších procesorov od firmy Intel (pokiaľ sa daný procesor v počítači nachádza).

4.2. Štruktúra programu

Snímacia časť programu sa skladá zo štyroch tried, a to:

- Form1.cs, ktorá má na starosti všetky výpočty a beh programu,
- Form1.cs[Design] na dizajn a vykreslenie GUI,
- Form2.cs, ktorá slúži na vytvorenie formulára na zadanie dĺžky snímania tmavého obrázku a
- Form2.cs[Design], ktorá tento formulár vykreslí.

Inštancia triedy Form2.cs sa vytvára v triede Form1.cs pri kliknutí na položku menu Capture – Dark Frame. Trieda Form2.cs obsahuje jedinú metódu, a to okButton_click, ktorá overí, či užívateľ zadal číslo a ak áno, nastaví statickú premennú darkFrameLength triedy Form1.cs na danú hodnotu. Hlavnou triedou programu je Form1.cs.

Program počas svojho behu potrebuje zistiť, aký obraz prichádza z web kamery, tento surový obraz nejakým spôsobom spracovať (podľa vstupov zadaných užívateľom) a spracovaný obraz zobrazíť užívateľovi. V prípade, že beží snímanie, snímky prichádzajúce z web kamery potrebuje zároveň uložiť. Tento proces je nutné opakovať v smyčke po celý beh programu. Preto bolo pri návrhu uvažované nad použitím while-cyklu alebo systémového časovača. Bol zvolený časovač pre lepšiu kontrolu nad frekvenciou

spracovávaní týchto udalostí s intervalom jednej desatiny sekundy. O obsluhu spomínaných udalostí sa stará metóda *TimerEventProcessor()*. Na spracovanie obrazu prichádzajúceho z web kamery volá metódu *preprocess()*, v ktorej sa nasníma čierny obrázok (ak má práve prebiehať jeho snímánie), odčíta sa čierny obrázok, ak už je nasnímaný, prípadne sa vypočíta spriemerovaný obrázok a upraví sa vlastnosti obrazu ako sú kontrast, jas, sila signálu a saturácia. Tento upravený obraz je opäť predaný funkcii *TimerEventProcessor()*, ktorá ho vykreslí v okne.

Informácia o tom, či práve prebieha snímánie, je uložená v boolovskej premennej *captureInProgress*. V prípade, že má prebiehať snímánie a snímky prichádzajúce z web kamery sa majú ukladať na disk, je spustené samostatné vlákno. V ňom sa získa obraz z kamery; zistí sa aktuálny dátum a presný čas a snímka sa uloží do nastaveného domovského adresára. V závislosti na tom, či užívateľ zadal konkrétny počet snímok, ktoré sa majú vyhotoviť alebo nie, je na obsluhu snímania zavolaná metóda *captureAndSave(object poc)*, resp. *whileCaptureAndSave()*. V úplne prvej fáze návrhu softwaru sa uvažovalo nad tým, že by sa tieto metódy neobsluhovali v samostatnom vlákne, ale bežali by vo vlákne hlavnom. Od tohto návrhu bolo upustené z toho dôvodu, že snímánie rádovo stoviek až tisícok snímok, ktoré môžeme očakávať, je úloha náročná na čas, a počas tejto doby by GUI len s ťažkosťou bolo prekresľované, z čoho by vyplývalo, že užívateľ by v okne nevidel, čo kamera sníma.

Okrem práve predstavených najdôležitejších obsluhujúcich program aj ďalšie metódy, a to metódy volané pri kliknutí na nejakú z položiek menu (ako nastavenie domovského adresára, nasnímanie alebo načítanie čierneho obrázku, ukončenie programu), metódy volané pri nastavení jednotlivých parametrov snímania (kontrast, atď.) a ďalšie pomocné metódy (napr. obsluha rôznych komponent GUI). Ich presný prehľad je uvedený v prílohe.

Predchádzajúca podkapitola uviedla hlavné predpoklady, ktoré ovplyvnili návrh registračnej časti softwaru. Jej cieľom bolo naprogramovať dve vybrané registračné metódy. Pre porovnanie sme zvolili jednu z metód založených na príznakoch a jednu z metód založených na porovnávaní bodových intenzít v obraze. Najťažšou časťou implementácie tejto časti bol návrh algoritmu hľadania korešpondencií bodov v 1.zvolenej metóde. Uvažovalo sa nad implementáciou metódy relaxácie, na záver sme však vybrali metódu minimálnej vzdialenosti, ktorá sa nám po zhodnotení našich predpokladov javila vhodnejšia. Registračná časť je, podobne ako snímacia časť, rozdelená do štyroch tried:

- *Form1.cs*, ktorá má opäť na starosti všetky výpočty a beh programu,
- *Form1.cs[Design]* na dizajn a vykreslenie GUI,

- Form2.cs, ktorá vytvorí formulár, v ktorom sa nastavujú voliteľné parametre programu a
- Form2.cs[Design], ktorá tento formulár vykreslí.

Knižnica Emgu CV v tejto časti softwaru slúži predovšetkým na priemerovanie už zaregistrovaných snímok, na hľadanie vhodných príznakov a výpočet transformačnej matice so subpixelovou presnosťou.

Dvoma najdôležitejšími metódami v triede Form1.cs sú *findAndMatchPoints()*, ktorá počíta registráciu založenú na príznakoch a *doNCCRegistration()*, ktorá registruje obrázky na základe metódy normalizovanej krížovej korelácie. Popisu algoritmov týchto dvoch metód je venovaná samostatná kapitola 4. Po spustení programu užívateľ načíta vstupné obrázky, prípadne tmavý⁷ a flat-field obrázky, vyberie jednu z registračných metód, ktorá sa má použiť a kliknutím na tlačidlo *Register!* spustí registráciu. Podľa zvolenej metódy sa spustí dané samostatné vlákno jednej z uvedených metód a prebehne výpočet. Najprv sa upraví každý vstupný obrázok odčítaním tmavého obrázku, následne prebiehajú samotné kroky registrácie.

Okrem týchto dvoch metód sú programu k dispozícii metódy, ktoré sú volané pri výbere položky menu (napr. načítanie vstupných obrázkov, nastavenie domovského adresára, kam sa budú ukladať výstupy programu, ukončenie programu) a metódy volané pri kliknutí na komponenty GUI (uloženie výsledného zaregistrovaného obrázka, zrušenie prebiehajúcej registrácie, atď.). Presný popis metód sa opäť nachádza v prílohe.

⁷ resp. sériu tmavých obrázkov, z ktorých bude automaticky vytvorený jeden tzv. ‘master dark frame’

5. Kapitola – Prehľad podobného softwaru na spracovanie astronomických snímok

V tejto kapitole si predstavíme software s podobným zameraním ako nami implementovaný a vybrané programy s naším programom porovnáme.

Na poli profesionálnych programov umožňujúcich nasnímanie astronomických objektov a spracujúcich snímky pomocou registrácie existuje množstvo viac-či-menej podarených konkurenčných produktov. Použitie niektorých je bezplatné, niektoré sú k dispozícii astronómom-amatérmi za poplatok. Nasleduje predstavenie tých najpopulárnejších, GUI každého z nich si môže prípadný záujemca prezrieť v prílohe č.4.

Programov umožňujúcich snímanie (*image capturing*) pomocou web kamery existuje veľmi veľa. Niektoré z nich sa špecializujú priamo na snímanie astronomických objektov. Cenovo sa v súčasnosti pohybujú medzi 50-700 USD, väčšina je však zadarmo.

Francúzsky program Astrosnap Pro umožňuje užívateľovi jednoduché snímanie alebo integráciu do videa s podporou dlhej expozície pre vybrané web kamery. Zároveň podporuje dve obľúbené driftové metódy (Bigourdan a King) a ďalšie funkcie. Je k dispozícii bezplatne. Software Nebulosity (60 USD) od firmy Stark Labs podporuje použitie veľkého výberu kamier a má v sebe zabudovanú podporu jednoduchej registrácie a ďalšieho post-processingu. Program Craterlet od rovnakej spoločnosti umožňuje užívateľovi nasnímať jednoduché snímky, buď ako sekvenciu alebo do videa, podporuje kamery kompatibilné s DirectX a je k dispozícii bezplatne. Posledný z nami prezentovaných programov špecializujúcich sa na snímanie astronomických objektov je software wxAstroCapture, bežiaci pod operačnými systémami Windows a Linux. Podporuje dlhé expozície a automatický guiding a snímanie pomocou špecializovaných kamier Artemis/ATK. Medzi ďalšie programy patria CCDSoft, MaximDL či AstroArt.

Medzi najobľúbenejšie profesionálne registračné programy spracujúce astronomické snímky patrí v súčasnej dobe software Registax (v dobe písania tejto práce aktuálna verzia 6.1). Jedná sa o holandský program, ktorý je k dispozícii zadarmo. Je navrhnutý pre spracovanie videosúborov astronomických objektov, obzvlášť planét, detailov Mesiaca, Slnka, atď. Videosekvencia je rozložená na dielčie snímky, tie sú automaticky zrovnané a je vyhodnotená ich kvalita. Najlepšie zo snímok sú ďalej upravené na zmiernenie účinkov seeingu, následne sa spriemerujú do jedinej snímky. Užívateľ má možnosť aplikovať vlnový filter (*wavelet filter*), s pomocou ktorého je možné zdôrazniť štruktúry v obrázku. Správna aplikácia tohto filtru umožní vytiahnuť detaily v obrázku a nechať úroveň šumu na pôvodnej

úrovni. Užívateľ má možnosť výberu z množstva možností, čo občas môže zneprehľadniť prácu s programom.

Ďalším obľúbeným programom na spracovanie astronomických snímok je Iris, pekný program v jednoduchom grafickom prevedení. Je bezplatný, s pomerne veľkou podporou v podobe tutoriálov a update programu sú pomerne časté, takže program je nabitý rôznymi funkciami. Väčšina akcií vykonaných v programe je nevratná, čo nevadí, ak užívateľ používa správny postup a je opatrný. Na záver uvedieme profesionálny program Mira, ktorý je k dispozícii vo viacerých prevedeniach závisiacich na oblasti špecializácie (medicína, biológia, fyzika, astronómia) a od toho sa odvíja aj cena. Mira AL špecializovaná na amatérsku astronómiu (169 USD) dáva užívateľovi prístup okrem metódy registrácie aj k ďalším funkciám, ako sú zvýraznenie farieb, fotometria a rôzne merania.

Uvedomujeme si, že nami vytvorený a v tejto práci prezentovaný software AstroCam sa počtom funkcií nemôže vyrovnáť profesionálnym programom predstaveným v tejto kapitole, napriek tomu má náš software v porovnaní s nimi určité prednosti. Program AstroCam je samozrejme k dispozícii bezplatne a je jednoduchý na ovládanie, čo je pri práci za tmy v teréne dôležité. Napriek tomu poskytuje užívateľovi všetky potrebné základné funkcie na vyhotovenie astronomických snímok. Umožňuje jednoduché a rýchle nastavenie kontrastu, jas, sily signálu a saturácie zobrazovaného videa bez zbytočného zadávania ďalších nepotrebných parametrov. Dáva možnosť zazoomovať na zobrazený objekt až 64 krát. Väčšina porovnávaných produktov umožňuje síce dlhodobú expozíciu, na čo je však nevyhnutné mať k dispozícii špeciálnu (alebo špeciálne upravenú) web kameru, ktorá dlhé expozície dovoľuje.

Registračná časť funguje plne automaticky a po vizuálnej stránke dosahuje veľmi podobné výsledky ako konkurenčný software. Nevyžaduje zdĺhavé nastavovanie parametrov ako produkt Iris, ktorý navyše vyžaduje zadávanie niektorých z nich do príkazového riadku. Vizuálne porovnanie výsledkov registrácie testovacích dát programu AstroCam a Registax sa nachádza v prílohe č.5.

Záver

Cieľom našej práce bol návrh a vytvorenie softwaru, ktorý by umožnil užívateľovi pomocou web kamery pripojenej k ďalekohľadu vyhotoviť snímky astronomických objektov, uložiť ich a následne spracovať pomocou vybraných metód procesu zvaného registrácia a priemerovania.

V teoretickej časti práce (kapitoly 1 a 2) sme popísali, ako a prečo sa dá web kamera použiť k astrofotografii, ktoré web kamery je k tomuto účelu vhodné použiť a predstavili sme si nejaké metódy montáže kamery a ďalekohľadu. Popísali sme najčastejšie vady, s ktorými sa môžeme v astrofotografii stretnúť a akým spôsobom ich môžeme eliminovať. Následne sme sa venovali registrácii zo všeobecného pohľadu a s prihliadnutím na nami riešený problém.

Kapitoly 3 a 4 boli venované našej implementácii. Rozobrali sme podrobne nami implementované registračné metódy a porovnali sme výsledky zvolených metód. Keďže sa dá v dnešnej dobe k registrácii v astrofotografii pristupovať z dvoch strán, a to z pohľadu metód založených na príznakoch a metód založených na jasovej intenzite obrazových bodov, rozhodli sme sa pre porovnanie implementovať tieto dva prístupy. Z druhého prístupu sme implementovali konkrétne metódu normalizovanej krížovej korelácie. Zistili sme, že metódy založené na príznakoch sú vhodné pre registráciu snímok, ktoré obsahujú veľké množstvo príznakov, sú vhodné aj pre mierne rotované obrázky. Naopak, pre snímky, ktoré veľké množstvo príznakov neobsahujú (napr. snímky planét, jednotlivých hviezd), je vhodnejšia metóda porovnávajúca pixelovú intenzitu. Táto metóda pracuje za vhodne nastavených parametrov rýchlejšie ako 1. prístup, ale vyžaduje viac počítačovej pamäti.

V kapitole 5 sme predstavili podobný software na trhu a porovnali sme náš software s vybranými produktmi.

Možnosti ďalšieho rozvoja či zdokonalenia sú pomerne široké. V registračnej časti práce sme pracovali s niekoľkými predpokladmi. Hľadanie korešpondencií bodov v prvej implementovanej metóde predpokladalo, že obrázky sú voči sebe posunuté, a to o malú konštantu. Pri hľadaní korešpondencií je v súčasnej dobe používaná metóda minimálnej vzdialenosti. Bolo by vhodné upraviť algoritmus hľadania korešpondencií tak, aby nebol závislý na tomto poznatku, a teda bol schopný spárovať nájdené body na ľubovoľne posunutých obrázkoch. Zároveň by bolo vhodné doplniť možnosť registrovať obrázky voči sebe transformované aj iným matematickým modelom ako transláciou, napr. rotáciou, škálovaním, a pod.

Zoznam použitej literatúry

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Image_registration
- [2] M.R.Sabuncu – Entropy-based image registration, disertation thesis, Princeton University, 2006
- [3] J.B. Maintz, M.Viergever – A Survey of Medical Image Registration, Medical Image Analysis, Oxford Press, 1997
- [4] J. Shi and C. Tomasi, “Good features to track,” in IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR’94), (Seattle), s. 593–600, IEEE Computer Society, June 1994.
- [5] J.Hladůvka et al. – Exploiting eigenvalues of the Hessian Matrix for Volume Decimation, In Proceedings of the 1999 IEEE Conference on Visualization (VIS-99), s. 471–474, 1999.
- [6] R.Szeliski – Image Alignment and Stitching: A Tutorial, In Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision, Vol.2, No.1, 2006
- [7] L.G. Brown – A survey of image registration techniques, ACM Computing Surveys 24, s. 326-376, 1992
- [8] G.Bartoli – Image Registration Techniques: A Comprehensive Survey, Università degli Studi di Siena, 2007, <http://clem.dii.unisi.it/~vipp/projects/firb/files/Registration.pdf>
- [9] OpenCV documentation, <http://opencv.willowgarage.com/documentation/>
- [10] http://en.wikipedia.org/wiki/Diurnal_motion
- [11] The Early History Of Astrophotography. By Peter Abrahams.
<http://www.europa.com/~telscope/astrophot.txt>
- [12] Skala, P. – Zpracování digitální fotografie, aneb Astrofoto od vyfocení po zpracování, online astro-foto.astronomie.cz/fotky/Astrofoto.ppt
- [13] <http://www.davesastro.co.uk/techniques/index.html>
- [14] <http://webcamastronomy.com/webcams.html>
- [15] http://astro.neutral.org/webcam_mods.html
- [16] http://en.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled_device#Use_in_astronomy
- [17] <http://home.zcu.cz/~smid/afoto/telmax.htm>
- [18] J.N.Sarvaiya, et al. – Image Registration by Template Matching using Normalized Cross-Correlation, in 2009 International Conference on Advances in Computing, Control, and Telecommunication Technologies, IEEE, s.819-822

- [19] <http://astro-foto.astronomie.cz/tutorial3.htm>
- [20] Zitová B., Flusser J.: Image registration methods: a survey. Image and Vision Computing, Vol. 21, No. 11, s. 977 – 1000, 2003.
- [21] http://www.astro-imaging.de/astro/webcam_imaging_6.html
- [22] http://www.threehillsobservatory.co.uk/astro/IR_FAQ.htm

Apendix A

Obsah priloženého CD

Obsah priloženého CD nosiča je organizovaný do nasledujúcej adresárovej štruktúry:

<i>/AstroCam/src</i>	zdrojové kódy v jazyku C# snímacej časti softwaru, vrátane .dll súborov knižnice EmguCV potrebných ku kompilácii a behu programu
<i>/AstroCam/setup</i>	spustiteľný inštalačný súbor snímacej časti
<i>/AstroRegistration/src</i>	zdrojové kódy v jazyku C# registračnej časti softwaru, vrátane .dll súborov knižnice EmguCV potrebných ku kompilácii a behu programu
<i>/AstroRegistration/setup</i>	spustiteľný inštalačný súbor registračnej časti
<i>/AstroRegistration/data</i>	vstupné dáta registračnej časti, snímky astronomických objektov
<i>/thesis</i>	elektronický text tejto práce vo formáte pdf

Appendix B

Príloha č.1 – Užívateľská dokumentácia

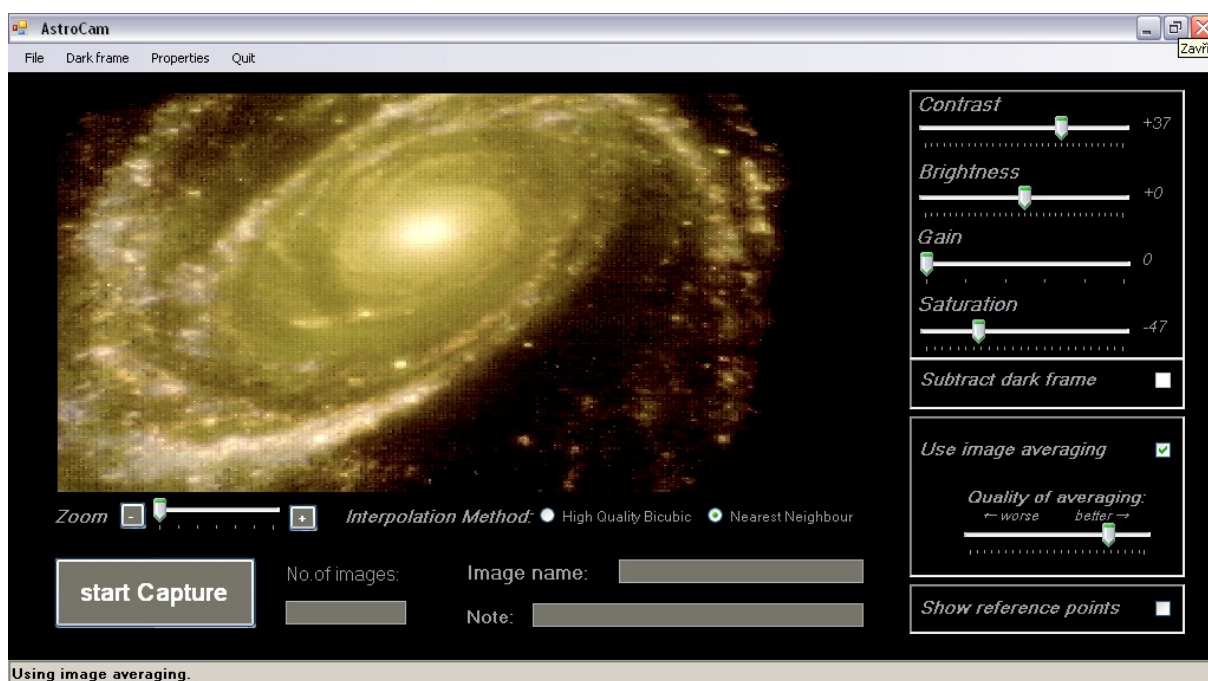
Snímacia časť – AstroCam

1. Inštalácia a spustenie programu

Program je možné nainštalovať kliknutím na súbor *AstroCam-setup.exe*, pričom sa zvolí adresár, do ktorého sa má program nainštalovať. Následne je možné program spustiť kliknutím na súbor *AstroCam.exe* v danom adresári.

2. Popis užívateľského rozhrania

Po spustení programu sa zobrazí užívateľské rozhranie (ďalej len „GUI“) s menu, oknom na zobrazenie obrazu snímaného web kamerou, posuvnými lištami na nastavenie parametrov snímaného obrazu a hlavným tlačidlom na spustenie / zastavenie snímania.



Obrázok č.6 – GUI snímacej časti softwaru AstroCam

Zdroj: vlastné spracovanie

Menu

Cez príkaz *File – Set Save Directory* môže užívateľ nastaviť svoj domovský adresár. Pri prvom spustení programu je tento nastavený na *C:/AstroImages/*. Do tohto adresára sa ukladajú všetky výstupy programu, t.j. nasnímané obrázky, čierny obrázok, súbor s detailmi nastavení snímania *Configurations.txt*.

Príkaz *Dark frame – Capture* umožňuje užívateľovi nasnímať jeden čierny obrázok, ktorý zvýrazní chyby čipu kamery. Po zvolení tohto príkazu sa otvorí okno, do ktorého užívateľ zadá počet milisekúnd, počas ktorých sa bude snímať tmavý obrázok. Po uplynutí zadaného časového intervalu má užívateľ možnosť nasnímaný tmavý obrázok uložiť na disk do domovského adresára. Počas snímania obrázku musí byť objektív kamery zakrytý.

Príklad: užívateľ chce nasnímať tmavý obrázok ako priemer snímania počas 5 sekúnd, do okna teda zadá číslo 5000. A následne klikne na tlačidlo OK.

Položka menu *Dark frame – Load from disk...* dáva alternatívnu možnosť načítania tmavého obrázka zo súboru uloženého na disku.

Príkaz *Properties – Reset all properties* nastaví hodnoty kontrastu, jas, sily signálu a saturácie na počiatočné.

Príkaz *Quit – Exit AstroCam* ukončí program.

Okno

Po spustení programu sa začne obraz z pripojenej kamery automaticky zobrazovať v okne v GUI. Kvalita zobrazeného obrazu závisí na použitej web kamere a na nastavených parametroch snímania. V prípade, že ku počítaču nie je pripojená žiadna kamera, program na to užívateľa upozorní a skončí.

Pod oknom sú umiestnené ovládače na zoom snímaného obrazu a s tým súvisiacu použitú metódu interpolácie. Zoom môže nadobúdať hodnoty 1, 2, 4, 16, 32 a 64-krát, defaultne je nastavená hodnota 1 (t.j. žiadny zoom). Pre metódu interpolácie si môže užívateľ vybrať medzi bikubickou metódou a metódou nearest neighbour (najbližšieho suseda).

Ovládací panel parametrov snímania

Napravo od okna sa nachádzajú štyri lišty na nastavenie kontrastu (*Contrast*), jas (*Brightness*), sily signálu (*Gain*) a saturácie (*Saturation*), vedľa každej lišty je uvedená aktuálna nastavená hodnota daného parametru (v rozmedzí od -100 do +100). Sila signálu má hodnoty v rozmedzí od 0 do 5.

Pod lištami sa nachádzajú 3 zaškrtávacie políčka:

- *Subtract dark frame* – ak označené, od snímaného obrazu sa odčíta čierny obrázok, následne sa tento upravený obrázok zobrazuje v okne. Na použitie tejto funkcie musí byť čierny obrázok už predtým nasnímaný, inak toto políčko nie je možné zaškrtnúť.
- *Use image averaging* – ak označené, na zlepšenie kvality snímaného obrazu sa použije priemerovanie snímok, prípadné zmeny v snímanom obraze sú propagované pomalšie,

užívateľ má možnosť zvoliť si kvalitu priemerovania nastavením ukazovateľa na posuvnej lište *Quality of averaging*, pri spustení programu je priemerovanie vypnuté o ak neoznačené, priemerovanie je vypnuté, kvalita obrazu je horšia, ale zobrazovanie zmien prebieha rýchlejšie

- *Show reference points* – vykreslí v okne 5 referenčných bodov, tieto body nebudú na výslednom uloženom obrázku zobrazované

Lišta snímania

Pod oknom sa nachádza tlačidlo *start Capture* na spustenie / ukončenie snímania. Akonáhle užívateľ nastaví všetky parametre, môže nastať samotný proces snímania astronomického objektu. Do okna *No.of images* zadá požadovaný počet snímok, ktorý sa má vyhotoviť.

i) V prípade, že toto políčko ostane nevyplnené bude proces snímania ukončený až opätovným kliknutím na tlačidlo.

ii) V prípade, že sa zadá znak, ktorý nie je prirodzeným číslom, snímání nebude spustené.

Do políčka *Image name*: užívateľ zadá požadované meno súboru, pod ktorým sa má uložiť prvá snímka, následné snímky budú uložené s daným menom a automaticky generovaným (najbližším voľným prirodzeným) číslom. V prípade, že toto políčko ostane prázdne, snímky sa budú ukladať pod menom „img“_číslo snímky_ dátum_čas. Do políčka *Note*: môže užívateľ zadať prípadnú poznámku týkajúcu sa ukladaných snímok.

Status bar Messages

V spodnej časti GUI sa nachádza read-only status bar, ktorý informuje užívateľa o zmenách nastavení programu a podáva prípadné chybové hlášky.

3. Vstupy a výstupy programu

Hlavným výstupom programu sú samozrejme získané snímky astronomických objektov. Snímky sú ukladané do domovského adresára vo formáte .bmp, v rozlíšení závisiacom na type použitej web kamery.

Súbor Configurations.txt

Informácie o aktuálnom presnom nastavení všetkých parametrov počas snímania (t.j. kontrast, atď.) sú ukladané pre prípad potreby následného spracovania získaných dát do súboru *Configurations.txt*, ktorý sa pri prvom snímaní vytvorí automaticky v nastavenom domovskom adresári. Pri ďalších snímaníach sú informácie ukladané na koniec tohto

súboru. Súbor obsahuje názov danej snímky, dátum, čas vyhotovenia, kontrast, jas, gain, saturáciu a poznámku zadanú užívateľom v GUI. Názov a poznámka sú položky, ktoré môže zadať užívateľ sám, ostatné je generované a vložené programom automaticky.

Príklad zadania vstupov:

Užívateľ chce urobiť 100 snímok Mesiaca, uložiť si ich pod týmto menom, a priložiť poznámku, že sa jedná o zatmenie. Začiatok snímania sa koná 12.8.2011 o 22:14h. Nemá ešte uložený žiadny čierny obrázok a rád by tak urobil. Cez položku menu *File – Set Save Directory* si nastaví požadovaný adresár, kam sa majú výstupy programu ukladať. Zakryje sa objektív pripojenej web kamery a po kliknutí na položku menu *Dark frame – Capture* sa zobrazí okno, do ktorého sa zadá požadovaný počet milisekúnd na nasnímanie tmavého obrázka, klikne sa na tlačidlo OK. Obrázok sa následne môže uložiť do domovského adresára. Po opätovnom odkrytí objektívu sa nastaví parametre snímaného obrazu na ovládacom paneli parametrov (ak nutné), do poľa *No.of images* sa zadá číslo 100, do poľa *Image name:* sa vyplní Mesiac, do poľa *Note:* zatmenie. Následne sa klikne na tlačidlo „start Capture“. Program následne nasníma 100 obrázkov prichádzajúcich z web kamery, ktoré automaticky ukladá do nastaveného adresára pod menami: Mesiac0_2011-08-12_22-14-00.bmp, ... , Mesiac99_2011-08-12_23-14-00.bmp. Do súboru *Configurations.txt* uloží na každý riadok zvlášť informácie o každej vyhotovenej snímke vo formáte popísanom vyššie. Nasnímanie 100 obrázkov pri zapnutom priemerovaní trvá približne 2 minúty a výsledných 100 snímok zaberie približne 45-50 MB.

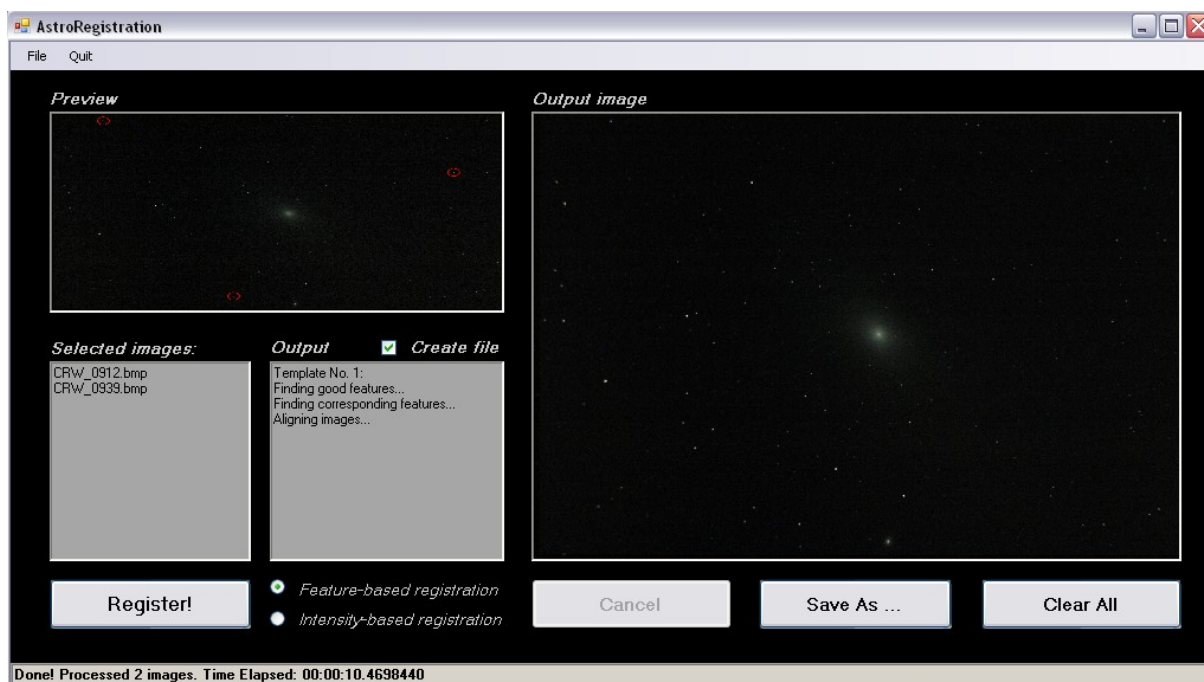
Registračná časť – AstroRegistration

1. Inštalácia a spustenie programu

Program je možné nainštalovať kliknutím na súbor *AstroRegistration-setup.exe*, pričom sa zvolí adresár, do ktorého sa má program nainštalovať. Následne je možné program spustiť kliknutím na súbor *AstroRegistration.exe* v danom adresári.

2. Popis užívateľského rozhrania

Podobne ako v časti na snímanie, aj v tomto programe sa po spustení zobrazí GUI s menu, oknami na zobrazenie vstupných a výstupných obrázkov a tlačidlami na ovládanie programu.



Obrázok č.7 – GUI registračnej časti softwaru AstroCam

Zdroj: vlastné spracovanie

Menu

Príkaz *File–Load Images for Registration...* umožní užívateľovi načítať obrázky na registráciu. Po výbere obrázka sa zobrazí v okne Preview jeho malý náhľad a tento obrázok sa pridá do zoznamu obrázkov, ktoré sa budú registrovať. Tento zoznam je zobrazený v okne *Selected images*. Na spustenie registrácie je potrebné vybrať aspoň dva obrázky. Je nutné, aby prvá načítaná snímka mala veľkosť rovnakú ako všetky ostatné načítavané obrázky. Program je schopný pracovať s obrázkami formátu .bmp, .jpg, .gif a .png, nespracuje obrázky typu RAW.

Príkaz *File–Load Dark Frame(s)...* umožní načítanie zvolených tmavých obrázkov, ktoré budú spracované automaticky do jedného master tmavého obrázku.

Príkaz *File – Load Flat-Field Frame...* umožní načítanie flat-field obrázku.

Načítanie tmavého ani flat-field obrázku nie je nutné na spustenie registrácie.

Príkaz *File–Set Save Directory...* nastaví domovský adresár, do ktorého sa budú ukladať výstupy programu.

Príkaz *Quit–Exit AstroRegistration* ukončí program.

Výber metódy registrácie

Vedľa tlačidla *Register!* sa nachádzajú dve prepínacie políčka *Feature-based registration* a *Intensity-based registration*. Označenie práve jedného z nich umožňuje použitie zvolenej metódy registrácie na načítané obrázky. *Feature-based registration* prepne program do módu, v ktorom je použitá registrácia založená na hľadaní význačných príznakov v obrázku, na základe ktorých sú potom vstupné snímky registrované. Po kliknutí na tlačidlo *Register!* program užívateľa vyzve, aby zadal maximálny počet význačných príznakov, ktoré sa budú následne vo vstupných obrázkoch hľadať. Zadaná hodnota môže byť v rozsahu od 10 do 500. V okne *Preview* sa počas behu registrácie zobrazuje priebežne na každom spracovávanom testovacom obrázku lokalizácia bodov, ktoré boli použité na výpočet transformačnej matice. Na správne fungovanie tejto metódy je ideálne, aby program našiel na každom vstupnom obrázku aspoň 3 význačné príznaky. V prípade, že sa tak nestane, program sa snaží obrázky zaregistrovať pomocou vypočítaného priemerného posunu v X-ovej a Y-ovej súradnici. V prípade, že program nájde menej ako 3 príznaky, odporúča sa použiť druhú možnosť. Múd *Intensity-based registration* používa registráciu založenú na porovnávaní jasových hodnôt vstupných snímok. Po kliknutí na tlačidlo *Register!* sa program spýta na veľkosť referenčného obrazu. Táto hodnota znamená, o koľko percent z pôvodnej veľkosti prvej načítanej snímky sa zväčší jej veľkosť, aby bolo možné túto metódu použiť. Hodnota môže byť v rozsahu 0 až 100. Čím väčšie číslo, tým pomalšia, ale presnejšia registrácia. Táto hodnota závisí na predpokladanom maximálnom posune objektov na vstupných obrázkoch a vyžaduje znalosť užívateľa o tom, ako vstupné snímky vypadajú a aký veľký posun objektov užívateľ očakáva.

Príklad: vstupný referenčný a testovací obrázok má veľkosť 640 x 400 pixelov. Astronomické objekty sú na týchto dvoch obrázkoch voči sebe posunuté v smere osi X o 50 pixelov, v smere osi Y takisto o 50 pixelov. To znamená, že sa bude prehľadávať minimálne oblasť (640+2*50 x 400+2*50 pixelov), t.j. referenčný obrázok bude nutné zväčšiť aspoň o 25 %⁸. To znamená, že užívateľ zadá hodnotu 25 %. Ak si užívateľ nie je istý, akú hodnotu má vo všeobecnom prípade zadať, odporúča sa zadať hodnota okolo 20-30 %. Po zadaní tohto čísla sa spustí registrácia.

⁸ = max(740/650, 500/400) = max(1.16, 1.25) = 1.25

Ďalšie tlačidlá GUI

Prebiehajúcu registráciu je možné zrušiť kliknutím na tlačidlo *Cancel registration*. Kliknutie na toto tlačidlo nevymaže zoznam obrázkov na registráciu, len zastaví práve prebiehajúcu registráciu. Kliknutie na toto tlačidlo zastaví registráciu až po dokončení spracovania aktuálneho obrázku.

Priebeh registrácie je možné vidieť v okne *Output*. Označenie zaškrtnutého políčka *Create file* vytvorí v domovskom adresári súbor, do ktorého budú vypisovať v priebehu registrácie súradnice nájdených význačných bodov, zoznam vyradených bodov (nehôd v párovaní), súradnice výsledných použitých bodov a transformačná matica pre každý testovaný obrázok. V prípade použitia *Intensity-based* registrácie sa do tohto súboru zapisujú pozície najväčšej zhody koeficientu normalizovanej krížovej korelácie a vypočítaný posun v osiach X a Y pre každý testovaný obrázok.

V okne *Output image* je priebežne zobrazovaný po každom testovanom obrázku registrácie zaregistrovaný obrázok, ktorý je možné po skončení registrácie uložiť pod ľubovoľným menom kliknutím na tlačidlo *Save As ...*. Obrázky je možné uložiť vo formáte .bmp, .jpg, .gif a .png.

Kliknutím na tlačidlo *Clear All* a následným potvrdením sa vynuluje zoznam obrázkov na registráciu, zastaví sa prípadná bežiaca registrácia a program sa dostane do stavu ako pri prvom spustení.

Príloha č.2 – Programátorská dokumentácia

Snímacia časť – AstroCam

1. Knižnica Emgu CV

Knižnica Emgu CV je multi-platformový C# wrapper pre Intelovskú knižnicu na spracovanie obrazu Open CV. Projekt využíva „služby“ knižnice, a to hlavne na komunikáciu s web kamerou a zobrazovanie snímaného obrazu v GUI.

2. Postup inštalácie pre OS Windows

Pre použitie knižnice je nevyhnuté mať nainštalované vývojové prostredie Visual Studio 2010 / Visual Studio 2008 / Visual Studio 2005 a MSVCRT 9.0 SP1 (Microsoft Visual C++ 2008 SP1 Redistributable Package (x86)⁹). Pre potreby softwarového vývoja projektu AstroCam je nutné najskôr knižnicu nainštalovať¹⁰. Pre náš projekt bola použitá jej open source časť pod licenciou GNU GLPv3, verzia 2.2.

Postup:

1. Z webovej lokality <http://sourceforge.net/projects/emgucv/files/emgucv/> sa stiahne najnovšia verzia knižnice a spustí sa jej inštalácia (vyžaduje okolo 100 MB diskového priestoru).
2. Po nainštalovaní knižnice musia byť do referencií projektu pridané súbory Emgu.Util.dll, Emgu.CV.dll a Emgu.CV.UI.dll (položka menu *View–Solution Explorer–References*, pravým tlačidlom sa zvolí *Add reference..* a daný .dll súbor sa vyhľadá v EmguCV/bin adresári).
3. Do úvodu kódu sa pridávajú riadky `using Emgu.CV;` `using Emgu.CV.Structure;` `using Emgu.CV.UI.`
4. Skopírujú sa .dll súbory knižnice: `opencv_calib3d{XXX}.dll`, `opencv_contrib{XXX}.dll`, `opencv_core{XXX}.dll`, `opencv_features2d{XXX}.dll`, `opencv_ffmpeg{XXX}.dll`, `opencv_flann{XXX}.dll`, `opencv_gpu{XXX}.dll`, `opencv_highgui{XXX}.dll`, `opencv_imgproc{XXX}.dll`, `opencv_legacy{XXX}.dll`, `opencv_ml{XXX}.dll`, `opencv_objdetect{XXX}.dll`, `opencv_video{XXX}.dll` and `cvextern.dll` do adresára projektu, kde {XXX} je číslo nainštalovanej verzie OpenCV.

⁹ viz <http://www.microsoft.com/downloads/details.aspx?familyid=A5C84275-3B97-4AB7-A40D-3802B2AF5FC2&displaylang=en>

¹⁰ viz: www.emgu.com/wiki/index.php/Download_And_Installation

V projekte sa v menu klikne na položku *Project – Add Existing Item* a do projektu sa pridajú vyššie uvedené .dll súbory. Každý z týchto .dll súborov sa klikne, nájde sa položka "*Copy to Output Directory*" a vyberie sa možnosť "*Copy if newer*". Pre správne fungovanie snímacej časti je nevyhnutné pridať hlavne tri .dll súbory: `opencv_core{XXX}.dll`, `opencv_highgui{XXX}.dll` a `opencv_imgproc{XXX}.dll`, pridanie ďalších je voliteľné.

3. Štruktúra programu

Na vývoj užívateľského rozhrania (GUI) bolo použité prostredie Microsoft Visual Studio 2008, a v ňom Windows Forms Application template.

Program sa skladá zo štyroch tried, a to `Form1.cs`, ktorá má na starosti všetky výpočty a beh programu, `Form1.cs[Design]`, na dizajn a vykreslenie GUI, `Form2.cs`, ktorá slúži na zobrazenie formulára za zadanie dĺžky snímania tmavého obrázku pri kliknutí na položku menu *Dark frame – Capture* a nakoniec `Form2.cs[Design]`, ktorá tento formulár vykreslí.

Po spustení programu sa vykreslí GUI a následne v smyčke beží hlavný program, ktorý pomocou časovača (trieda `System.Windows.Forms.Timer`) s nastaveným intervalom 0.1 sekundy spracúva hlavné udalosti (viz. metóda `TimerEventProcessor()` v prehľade).

Tu je prehľad najdôležitejších metód v triede `Form1.cs`:

- i) **`TimerEventProcessor()`** – každých 0.1 sekúnd sa zachytí obraz z web kamery, zistia sa práve nastavené parametre (jas, zapnuté priemerovanie, atď.), zobrazený snímok sa podľa nich predspracuje a následne sa upravený obraz vykreslí v okne
- ii) **`preprocess()`** – metóda volaná metódou `TimerEventProcessor()` na predspracovanie „surového“ obrazu zachyteného kamerou. Nasníma sa čierny obrázok (ak má práve prebiehať jeho snímanie), odčíta sa čierny obrázok, ak už je nasnímaný, prípadne sa vypočíta spriemerovaný obrázok, upraví sa saturácia, kontrast, jas, gain
- iii) **`drawReferencePoints()`** – vykreslí v okne 5 referenčných bodov pomocou funkcie `cvLine` knižnice `EmguCV`
- iv) **`button1_click(object sender, EventArgs e)`** – zavolá sa po kliknutí na tlačidlo *start Capture*; v prípade, že neprebíha proces snímania, sa nastaví text na tlačidle na „*stop Capture*“, zistí sa, či je v okne *No. of images* vyplnené číslo a podľa toho sa zavolá metóda `captureAndSave`, ktorá spustí nové vlákno programu (s

prípadným parametrom počtu snímaných obrázkov); v prípade, že proces snímania prebieha, snímanie sa zastaví, text na tlačidlo sa nastaví na „*start Capture*“

v) **captureAndSave(object poc)** a **whileCaptureAndSave()** – metódy bežiacie vo vedľajšom vlákne, ktoré majú na starosti ukladanie snímok: keďže sa pracuje s tým istým objektom (capture triedy Capture) ako v hlavnom vlákne, uzamkne sa a získa sa obraz z kamery; zistí sa aktuálny dátum a čas, snímka sa uloží do nastaveného domovského adresára a do súboru Configurations.txt sa pridá riadok s menom a parametrami snímania. Hlavný rozdiel medzi týmito dvoma metódami je v tom, že metóda captureAndSave(object poc) po uložení zadaného počtu snímok skončí automaticky (a jej vlákno sa ukončí), zatiaľ čo metóda whileCaptureAndSave() skončí až potom, keď užívateľ opätovne klikne na tlačidlo *stop Capture*

vi) metódy volané pri kliknutí na položky menu:

- **setSaveDirectoryToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)** – výber položky menu *File – Set save directory* otvorí folderBrowser, kde sa nastaví hodnota premennej PATH na zvolený adresár
- **darkFrameToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)** – po výbere položky menu *Dark frame – Capture* sa vytvorí inštancia triedy Form2.cs, ktorá zobrazí nový formulár (v tvare MessageBoxu) s oknom, do ktorého sa zadá počet milisekúnd snímania tmavého obrázku. Zadaná hodnota sa uloží po kliknutí na tlačidlo OK do premennej *darkFrameLength* triedy Form1.cs. Následne sa zavolá metóda *enableDisable(false)* a spustí sa časovač *dfTimer*. Keď je tento časovač spustený, v metóde *preprocess()* sa sníma čierny obrázok, ktorý je priemerovaný cez funkciu *cvRunningAvg* knižnice EmguCV.
- **loadFromDiskToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)** – po výbere položky menu *Dark frame – Load from disk...* sa otvorí *openFileDialog*, kde užívateľ vyberie súbor, ktorý bude načítaný do programu ako tmavý obrázok
- **exitAstroCanToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)** – ukončenie programu

vii) metódy volané pri zmene nastavení parametrov pomocou komponent formulára:

- `contrastTB_Scroll(object sender, EventArgs e)` – pri posune zobáčka na posuvnej lište kontrastu sa nastaví hodnota premennej *contrast* na hodnotu z lišty
- `brightnessTB_Scroll(object sender, EventArgs e)` – analogicky pre premennú *brightness*
- `gainTB_Scroll(object sender, EventArgs e)` – analogicky pre premennú *gain*
- `satTB_Scroll(object sender, EventArgs e)` – analogicky pre premennú *saturation*

viii) pomocné metódy:

- **`initParams()`** – nastavenie minima, maxima, hodnoty a frekvencie posuvných lišt kontrastu, jasu, sily signálu, saturácie, priemerovania a zoomu pri spustení programu
- **`dfTimer_Elapsed(object sender, ElapsedEventArgs e)`** – po uplynutí časového limitu nastaveného časovačom *dfTimer* sa nastaví hodnota bool premennej *captureInProgress* na hodnotu false, vypne sa časovač *dfTimer*, zavolá sa funkcia *enableDisable(true)*, otvorí sa dialógové okno, ktoré dáva užívateľovi možnosť práve nasnímaný tmavý obrázok uložiť z cache pamäti na disk. Ak túto možnosť nezvolí, práve nasnímaný obrázok sa len uloží do cache pamäti programu.
- **`enableDisable(bool value)`** – volaná pri snímaní tmavého obrázka, znemožní/umožní manipuláciu s komponentami formulára pred/po jeho snímaní nastavením ich vlastnosti 'Enabled' na hodnotu 'value'
- ...

Trieda `Form2.cs` obsahuje iba jednu metódu, a to *okButton_click()*, ktorá sa zavolá pri kliknutí na tlačidlo OK na formulári (viz metóda *darkFrameToolStripMenuItem_Click()* triedy `Form1.cs`).

Užívateľské rozhranie (trieda `Form1.cs[Design]`)

Formulár `Form1` obsahuje nasledovné komponenty:

- `menuStrip` – komponenta na zobrazenie menu programu
- `folderBrowser` – browser na nastavenie domovského adresára
- `openFD` – komponenta na otvorenie adresára, z ktorého sa vyberie súbor na načítanie tmavého obrázka

- `imageBox` – komponenta knižnice `EmguCV` podobná štandardnej komponente `PictureBox`. Na jej používanie je nutné ju najprv pridať do `Visual Studio`¹¹. Táto komponenta zobrazuje miesto objektu `Bitmap` objekt `Image<, >`, ktorý rozširuje možnosti práce s obrázkami vo `Visual Studiu`. V okne `imageBox` sa pri snímaní zobrazuje obraz z pripojenej web kamery.
- `captureButton` – tlačidlo `start/stop Capture` na spustenie/zastavenie snímania
- posuvné lišty na zmenu kontrastu, jas, sily signálu, saturácie, priemerovania a zoomu
- zaškrtnutá políčka na odčítanie tmavého obrázka, priemerovania, vykreslenie referenčných bodov
- `radio button` na prepnutie metódy interpolácie
- `textBoxy` na zadanie vstupu užívateľom (počet snímaných obrázkov, názov súboru, pod ktorým sa má uložiť nasnímaný obrázok, poznámka)
- `messages` – ‘`read-only`’ `textBox` na zobrazovanie výstupu programu – informačných správ o zmene nastavení v programe, prípadne chybách

4. Dátové štruktúry a premenné programu

Po spustení programu sa z pripojenej web kamery sníma obraz. Služi na to inštancia *capture* triedy `Capture` a jej metóda `QueryFrame()`. Prvý nasnímaný obrázok sa uloží do premennej *firstImageByte*, ktorý je typu `Image<Bgr,byte>`. Ten sa následne skonvertuje na typ `Image<Bgr, float>` do premennej *imageFloat2*. Táto premenná slúži ako akumulátor priemerovaných snímok.

Vďaka nastavenému časovaču sa každú desatinu sekundy nasníma obraz z kamery do premennej *imageByte1* typu `Image<Bgr,byte>`, ten sa následne skonvertuje na typ `Image<Bgr,float>` na využitie výhod plávajúcej rádovej čiarky (premenná *imageFloat1*). Prípadný tmavý obrázok sa ukladá do premennej *dark* typu `Image<Bgr,float>`.

Od obrázku uloženého v *imageFloat1* je následne prípadne odčítaný tmavý obrázok *dark*. Ak je zapnuté priemerovanie, *imageFloat1* sa pripočíta do akumulátoru a následne sa upravujú vlastnosti (kontrast, jas, atď.) obrázku.

Informácia o tom, či práve prebieha snímanie, je uložená v boolovskej premennej *captureInProgress*. Počas snímania sú ukladané informácie o práve nastavených parametroch programu do súboru. Na to slúži `StreamWriter configs`. Aktuálne hodnoty parametrov (kontrast, atď.) sú uložené v príznačne pomenovaných premenných typu `float`.

¹¹ viz http://www.emgu.com/wiki/index.php/Add_ImageBox_Control

Program využíva dva časovače, *myTimer* (trieda `System.Windows.Forms.Timer`) s intervalom 0.1 sekundy a *dfTimer* (trieda `System.Timers.Timer`) s voliteľným intervalom závisiacim na zadaní užívateľom (snímanie tmavého obrázku). Dĺžka intervalu sa ukladá do statickej premennej *darkFrameLength* typu `int`.

5. Komunikácia medzi vláknami

Ako už bolo spomínané, samotné snímanie prebieha v samostatnom vlákne (trieda `System.Threading.Thread`) ako GUI vlákno, keďže tento proces je časovo náročný. Napriek tomu táto úloha potrebuje komunikovať s vláknom GUI (formou informovania užívateľa napr. o stave prebiehajúcej úlohy, nastavením vlastností komponent GUI). Táto komunikácia prebieha cez C# typ `delegate` (metódy *SetTextCallBack*, ktorej parametrom je string správy, ktorá má byť v GUI zobrazená; a *SetControls* s boolovským parametrom, ktorý nastavuje vlastnosť `Enabled` komponent formulára).

Pokiaľ je nutné predať obslužnej metóde udalosti (napr. zobrazenie textu) informácie o tejto udalosti (t.j. o aký konkrétny text sa jedná), použije sa delegát s parametrom typu `object[]` {"text"} a na danej komponente GUI sa zavolá C# metóda `Invoke`.

Registračná časť – AstroRegistration

1. Knižnica Emgu CV

Knižnica Emgu CV je multi-platformový C# wrapper pre Intelovskú knižnicu na spracovanie obrazu Open CV. Projekt využíva „služby“ knižnice, a to hlavne na:

- priemerovanie snímok
- hľadanie vhodných bodov v metóde `findAndMatchPoints()`
- výpočet transformačnej matice medzi jednotlivými registrovanými snímkami a ich transformácia

2. Postup inštalácie pre OS Windows

Pre použitie knižnice je nevyhnuté mať nainštalované vývojové prostredie Visual Studio 2010 / Visual Studio 2008 / Visual Studio 2005 a MSVCRT 9.0 SP1 (Microsoft Visual C++ 2008 SP1 Redistributable Package (x86)¹²). Pre potreby softwarového vývoja projektu AstroCam je nutné najskôr knižnicu nainštalovať¹³. Pre náš projekt bola použitá jej open source časť pod licenciou GNU GLPv3, verzia 2.2.

Postup:

5. Z webovej lokality <http://sourceforge.net/projects/emgucv/files/emgucv/> sa stiahne najnovšia verzia knižnice a spustí sa jej inštalácia (vyžaduje okolo 100 MB diskového priestoru).
6. Po nainštalovaní knižnice musia byť do referencií projektu pridané súbory Emgu.Util.dll, Emgu.CV.dll a Emgu.CV.UI.dll (položka menu *View–Solution Explorer–References*, pravým tlačidlom sa zvolí *Add reference..* a daný .dll súbor sa vyhľadá v EmguCV/bin adresári).
7. Do úvodu kódu sa pridávajú riadky `using Emgu.CV;` `using Emgu.CV.Structure;` `using Emgu.CV.UI.`
8. a) Pre verziu knižnice ≤ 2.1 sa skopírujú .dll súbory knižnice: cvXXX.dll, cvauxXXX.dll, cxcoreXXX.dll, highguiXXX.dll, opencv_ffmpegXXX.dll, mlXXX.dll a cvextern.dll do adresára projektu, kde {XXX} je číslo nainštalovanej verzie OpenCV.
b) Pre verziu knižnice ≥ 2.2 sa skopírujú .dll súbory: opencv_calib3dXXX.dll, opencv_contribXXX.dll, opencv_coreXXX.dll, opencv_features2dXXX.dll, opencv_highguiXXX.dll, opencv_imgprocXXX.dll, opencv_legacyXXX.dll, opencv_mlXXX.dll, opencv_objectdetectXXX.dll, opencv_videoXXX.dll.

V projekte sa v menu klikne na položku *Project – Add Existing Item* a do projektu sa pridajú všetky vyššie uvedené .dll súbory. Každý z týchto .dll súborov sa klikne, nájde sa položka *"Copy to Output Directory"* a vyberie sa možnosť *"Copy if newer"*. V prípade registračnej časti je pre jej správne fungovanie nevyhnutné pridať hlavne dva .dll súbory: opencv_core{XXX}.dll a opencv_imgproc{XXX}.dll, pridanie ďalších je voliteľné.

¹² viz <http://www.microsoft.com/downloads/details.aspx?familyid=A5C84275-3B97-4AB7-A40D-3802B2AF5FC2&displaylang=en>

¹³ viz: www.emgu.com/wiki/index.php/Download_And_Installation

3. Štruktúra programu

Program sa skladá zo štyroch tried, a to Form1.cs, ktorá má opäť na starosti všetky výpočty a beh programu, Form1.cs[Design], na dizajn a vykreslenie GUI, Form2.cs na vytvorenie formulára na zadanie parametrov registrácie a Form2.cs[Design] na jeho vykreslenie.

Po spustení programu sa vykreslí GUI a čaká sa na vstupy užívateľa. Tými sa rozumejú predovšetkým obrázky pre registráciu, ktoré sa musia do programu načítať, a užívateľom zadávané príkazy s ňou spojené. Obrázky sa načítavajú do zoznamu *imagesToRegister* (dátová štruktúra *List<string>*), v ktorom sú uložené cesty k jednotlivým obrázkom. Obrázky načítané cez položky menu *File–Load Dark Frame(s)* a *File–Load Flat-Field Frame* sa načítavajú do samostatných štruktúr. Na časovanie dĺžky trvania registrácie sa používa systémová trieda *System.Diagnostics.Stopwatch*.

Najdôležitejšie metódy v triede Form1.cs:

- i) *findAndMatchPoints()* – hlavná metóda registračnej časti implementujúca 1.registračnú metódu, volá sa výberom možnosti *Feature-based registration* a kliknutím na tlačidlo *Register!*, bude popísaná bližšie
- ii) *doNCCRegistration()* – analogicky pre 2.registračnú metódu
- iii) *readAllImages()* – po výbere príkazu menu *File – Load All Images From...* sa načítajú do zoznamu *imagesToRegister* všetky obrázky z vybraného adresára
- iv) metódy volané pri kliknutí na tlačidlá v GUI:
 - a) *save_Click* – klik na tlačidlo *Save As...* zobrazí dialógové okno, ktoré sprostredkuje užívateľovi možnosť uložiť zaregistrovaný obrázok pod ľubovoľným menom
 - b) *cancel_Click* – zavolá sa pri kliknutí na tlačidlo *Cancel registration*, ak práve prebieha registrácia, t.j. je spustené jej vlákno, dobehne práve prebiehajúca iterácia cyklu a toto vlákno sa ukončí.
 - c) *clear_Click* – klik na tlačidlo *Clear All* zobrazí dialógové okno, ktoré užívateľa vyzve, aby potvrdil, že si praje všetko vymazať a začať od začiatku. Po potvrdení sa pozastaví prípadné bežiacie vedľajšie vlákno (t.j. registrácia), vyprázdni sa zoznam *imagesToRegister* a zoznamy obsahujúce všetky tmavé obrázky a vynulujú sa zobrazené obrázky v oknách (imageBox komponentách).
 - d) *register_Click* – klik na tlačidlo *Register!* spolu s kombináciou výberu danej registračnej metódy spustí príslušné vlákno

4. Metóda findAndMatchPoints()

Jedná sa o hlavnú metódu registračnej časti, ktorá počíta registráciu zvolených obrázkov založenú na hľadaní príznakov. Metóda je schopná pracovať len s obrázkami, ktoré sú voči sebe posunuté. Celý proces registrácie pracuje automaticky. Metóda pracuje so subpixelovou presnosťou.

Použitý algoritmus

V inicializačnej fáze sa naalokujú zoznamy *points1*, *points2* a *match* typu List<PointF>, do ktorých sa budú ukladať nájdené body vhodné na registráciu. Ďalej sa naalokujú inštancie typu Image<Bgr, byte> a Image<Bgr, float> pre referenčný (zdrojový, *source*), porovnávané (*template*) a pomocné obrázky, do ktorých sa načítavajú vstupné obrázky. Následne sa vo for-cykle prechádzajú všetky vstupné obrázky a porovnávajú sa so zdrojovým. Ako zdrojový sa berie prvý obrázok zo zoznamu *imagesToRegister*.

Algoritmus:

- pomocou funkcií GoodFeaturesToTrack a FindCornerSubPix knižnice EmguCV sa nájdu vhodné body v *source* a *template* obrázku, tie sa pridajú do naalokovaných zoznamov *points1* a *points2*
- pre každý bod v zozname *points1* sa vypočíta najbližší bod v zozname *points2*, ten sa pridá do zoznamu *match* (t.j. zoznam *match* obsahuje body z *template* obrázku, ktoré sú najlepšimi kandidátmi na matchovanie k bodom zo *source* obrázku)
- vypočíta sa posun v X-ovej a Y-ovej súradnici medzi korešpondujúcimi bodmi *points1* a *match*, z týchto údajov sa vypočíta priemerný posun medzi porovnávanými obrázkami (štatistická veličina modus, t.j. najčastejšie sa vyskytujúca hodnota)
- zo zoznamov *points1* a *match* sa odstránia body, ktoré sú od seba vzdialené viac ako 1 pixel od priemerného posunu, a teda k sebe s veľkou pravdepodobnosťou nepatria
- nájdu sa 3 najvhodnejšie body pre registráciu (t.j. body, ktoré sú od seba čo najviac vzdialené)
- body použité na výpočet transformačnej matice sa v porovnávanom obrázku vykreslia pre názornosť v okne *Preview*
- pomocou funkcií cvGetAffineTransform a cvWarpAffine knižnice EmguCV sa vypočíta na základe nájdených 3 bodov transformačná matica a *template* obrázok sa transformuje

touto maticou na *source* obrázok, s ktorým sa následne spriemeruje a výsledok sa vykreslí v okne *Output image*

Funkcia `GoodFeaturesToTrack` hľadá hrany (resp. rohy) s vysokými hodnotami vlastných čísiel.

Vstupom funkcie `cvGetAffineTransform` sú dva zoznamy bodov, z ktorých sa však berú podľa dokumentácie knižnice do výpočtov len práve (prvé) 3 body. Preto sa vyberajú práve 3 body v popísanom algoritme a z tohto dôvodu nemusí dobre fungovať popísaný algoritmus na obrázky, kde prvý krok algoritmu nájde menej ako 3 body. Na tieto obrázky je vhodné použitie nasledujúcej metódy.

5. Metóda `doNCCRegistration()`

V inicializačnej fáze sa naalokujú 2 obrázky typu `<Bgr, float>` pre referenčný (*source*) a testovaný (*template*) obrázok veľkosti pôvodných dát. Zároveň sa naalokujú 3 obrázky veľkosti (pôvodných dát + zadané rozšírenie popísané v hlavnom texte práce v kapitole 3.2): referenčný obraz (*referenceFrame*), *accumulator*, v ktorom bude uložený zaregistrovaný obrázok a *result*, pomocný obrázok, v ktorom budú uložené vypočítané koeficienty krížovej korelácie.

Do zväčšeného referenčného obrazu a akumulátora sa skopírujú do stredu pôvodné dáta prvej načítanej snímky (referenčného obrázku). Následne sa pre všetky testované obrázky vo for-cykle do obrázku *result* uložia koeficienty NCC vypočítané pomocou funkcie `EmguCV matchTemplate`. V tomto obrázku sa zistí pozícia maximálnej hodnoty koeficientu pomocou funkcie `MinMax`. Na základe týchto údajov sa zistí posun v X-ovej a Y-ovej súradnici. V referenčnom obraze sa nastaví podľa zisteného posunu tzv. *region of interest*, do ktorého sa skopírujú dáta z testovaného obrázku tak, aby pôvodný referenčný obrázok a testovaný obrázok na seba presne pasovali, následne sa dáta spriemerujú a výsledok sa vykreslí v okne.

Táto metóda oproti predchádzajúcej metóde pracuje len z pixelovou presnosťou.

6. Komunikácia medzi vláknami

Keďže niektoré metódy vyžadujú viac času na vykonanie naprogramovanej úlohy, bežia vo iných (vlastných) vláknach (trieda `System.Threading.Thread`) ako GUI vlákno. Napriek

tomu tieto úlohy potrebujú komunikovať s vláknom GUI (formou informovania užívateľa napr. o stave prebiehajúcej úlohy). Táto komunikácia prebieha cez C# typ delegate (metóda *SetTextCallback*, ktorej parametrom je string textu, ktorý má byť v GUI zobrazený, vracia typ `void`). Pokiaľ je nutné predať obslužnej metóde udalosti (napr. zobrazenie textu) informácie o tejto udalosti (t.j. o aký konkrétny text sa jedná), použije sa delegát *SetTextCallback* s parametrom typu `object[] {“text”}` a na danej komponente GUI sa zavolá C# metóda `Invoke`.

Príloha č.3 – Web kamery na astronomické snímanie

Výrobca	Model No.	Názov	Typ senzoru	Vhodné pre astro snímanie
3COM	371800 (disc.)	Home Connect	CCD	
Ame	CU98A	Vcam	CCD	
"-	CF2000	Vcam (firewire)	CCD	
Compro		PS39 - parallel port, PS39U-USB	CCD	
Creative -		Webcam	CMOS	
"-	VideoBlaster	Webcam 3	CMOS	
"-		Pro Ex Webcam	CCD	
"-	300	PC Cam	CCD	
"-	600	PC Cam	CCD	
"-	NX ULTRA	Webcam	CCD	
"-	LIVE ULTRA	Webcam	CCD	
D - Link	350	NETQAMPRO 350+	CCD	
IBM	XVP610	PC Camera Pro	1/4"CCD	
"-	XVP600	PC Camera Pro Max	1/4"CCD	
Unibrain	DIGCAM-RTL	Fire-i Web Cameras (firewire)	CCD	
	MACCAM-RTL			
Intel	CS430	Pro Video PC	CCD	B
"-	CS330	Home PC Camera	CCD	
"-		Easy PC	CMOS	
iREZ		Kritter USB	1/4"CCD	
	GM 051395	StealthFire webcam	1/4" CCD	
Kodak	DVC325	Digital Video Camera	CCD	
Logitech		QuickCam 3000	1/4"CCD	AAA
"-		QuickcamPro4000	1/4"CCD	záleží na CCD čípe
"-		QuickcamPro5000 USB 2.0	CMOS	
"-	<i>pozn. Orbit M1 je 1.3 Mpix CMOS</i>	QuickCam Sphere / Orbit	CCD	
"-		QuickCam Web	CMOS	
"-		Quickcam VC Black	CCD	
"-		Quickcam Fusion USB 2.0	CMOS	
Connectix	<i>Obsolete</i>	Quickcam B/W	CCD	
Orange Micro	70HTL101	iBOT Firewire	1/4"CCD	
"-	70HTL100	iBOT Firewire Pro	1/4"CCD	
"-	70USB90050/1	iBOT2 USB2	1/3"CMOS	
Philips	PCA 635 VC		CCD	
"-	PCVC 675K	Vesta	1/4"CCD	AAA
"-	PCVC 680K	Vesta Pro	CCD	AAAA
"-	PCVC 690K	Vesta Scan	CCD	AAAA
"-	PCVC 740K	Toucam Pro	1/4"CCD	AAAAA
"-	PCVC 750K	Toucam Pro 3D	CCD	
"-	PCVC 840K	Toucam Pro II -740 IN NEW CASE	CCD	AAAAA
"-	SPC 900NC		CCD	AAAAA

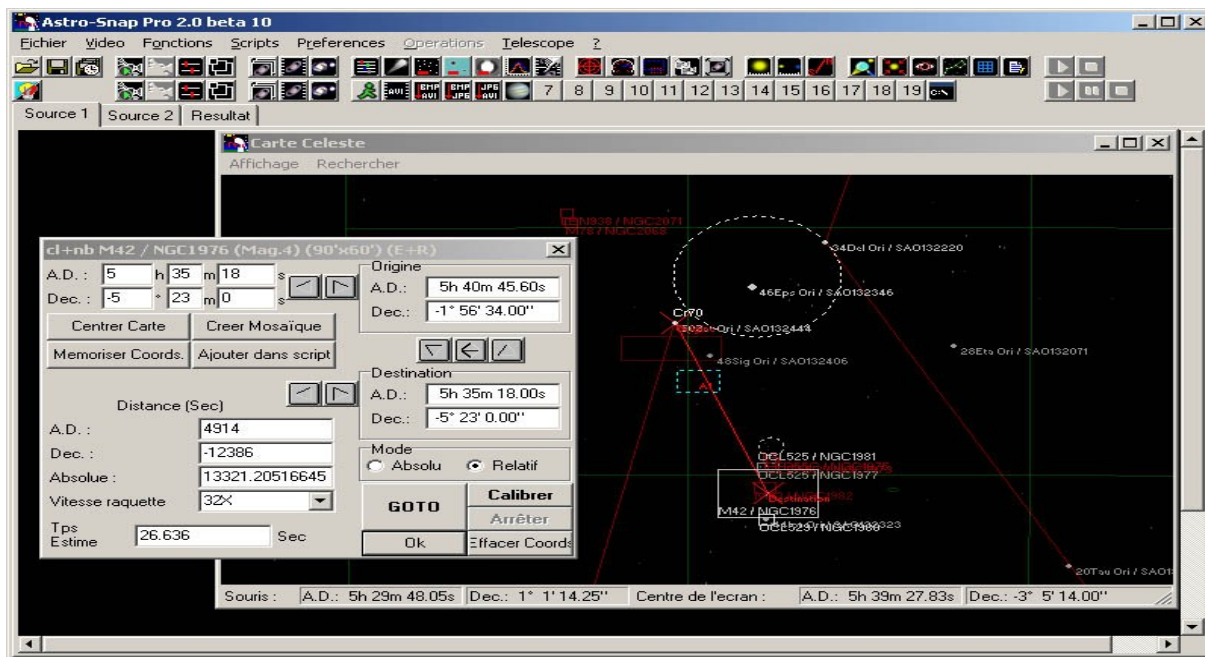
Tabuľka č.1 – Použitie web kamier na astrofotografiu

Zdroj: <http://homepage.ntlworld.com/molyned/web-cameras.htm>

Príloha č.4 – Užívateľské rozhranie najobľúbenejších konkurenčných programov na spracovanie astronomických snímok

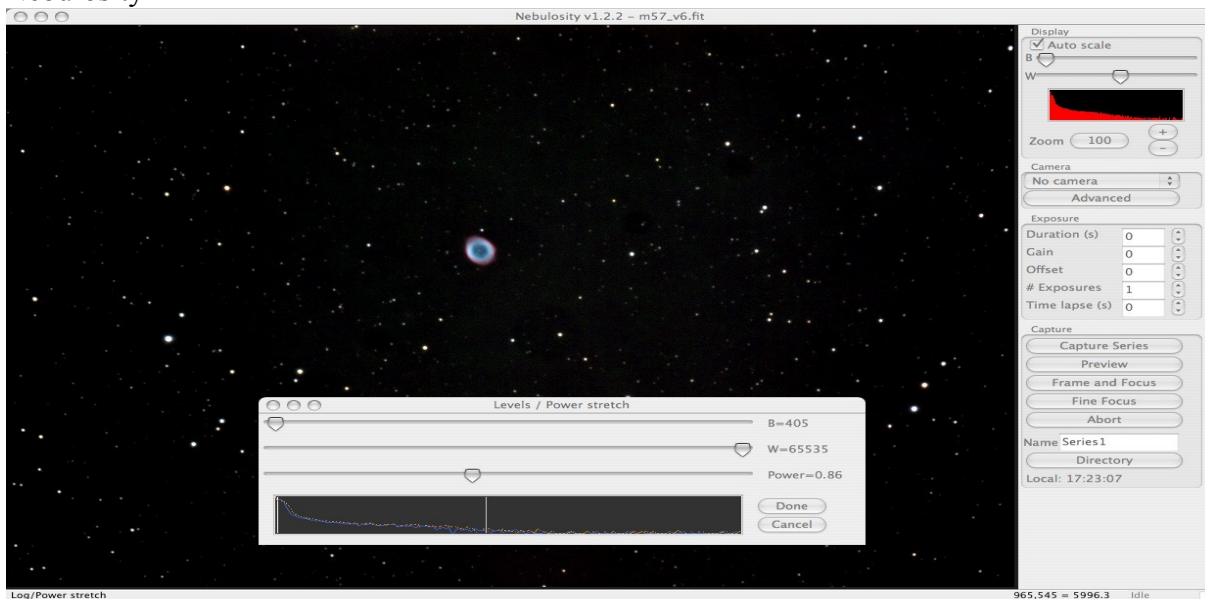
Programy na snímanie pomocou web kamery

Astrosnap Pro



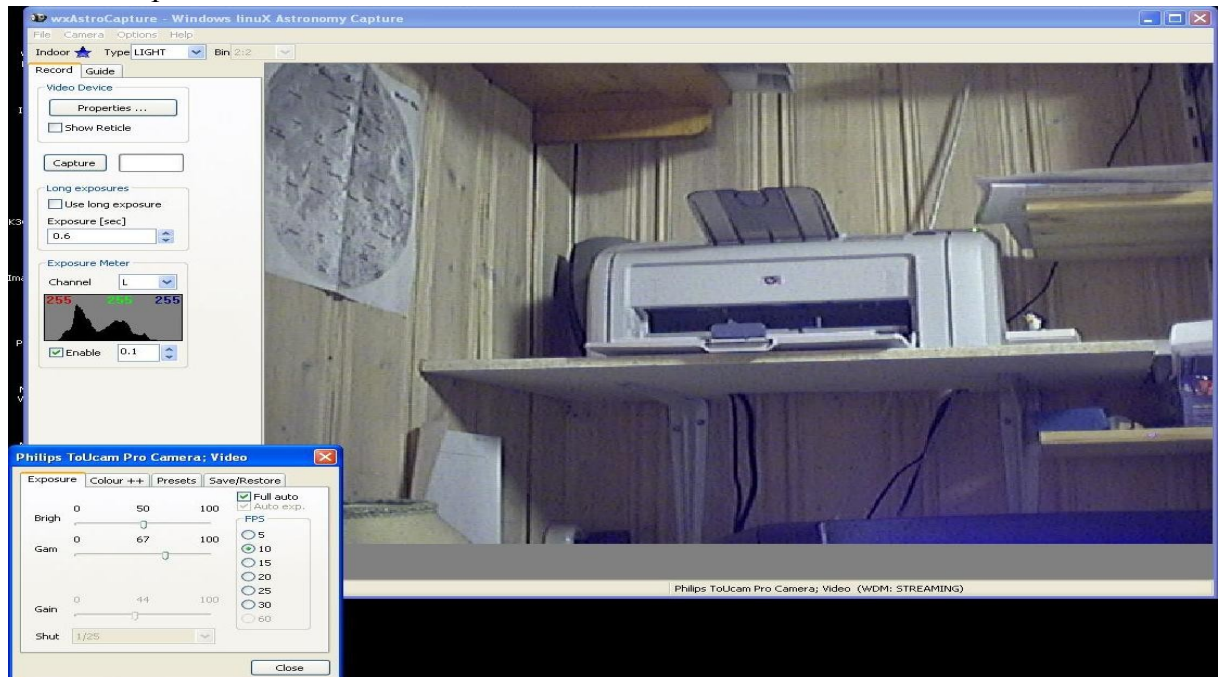
Obrázok č.8 – GUI programu Astrosnap Pro
Zdroj: http://www.astrosnap.com/snapshots_pro21_uk.html

Nebulosity



Obrázok č.9 – GUI programu Nebulosity
Zdroj: <http://www.stark-labs.com/nebulosity.html>

wxAstroCapture

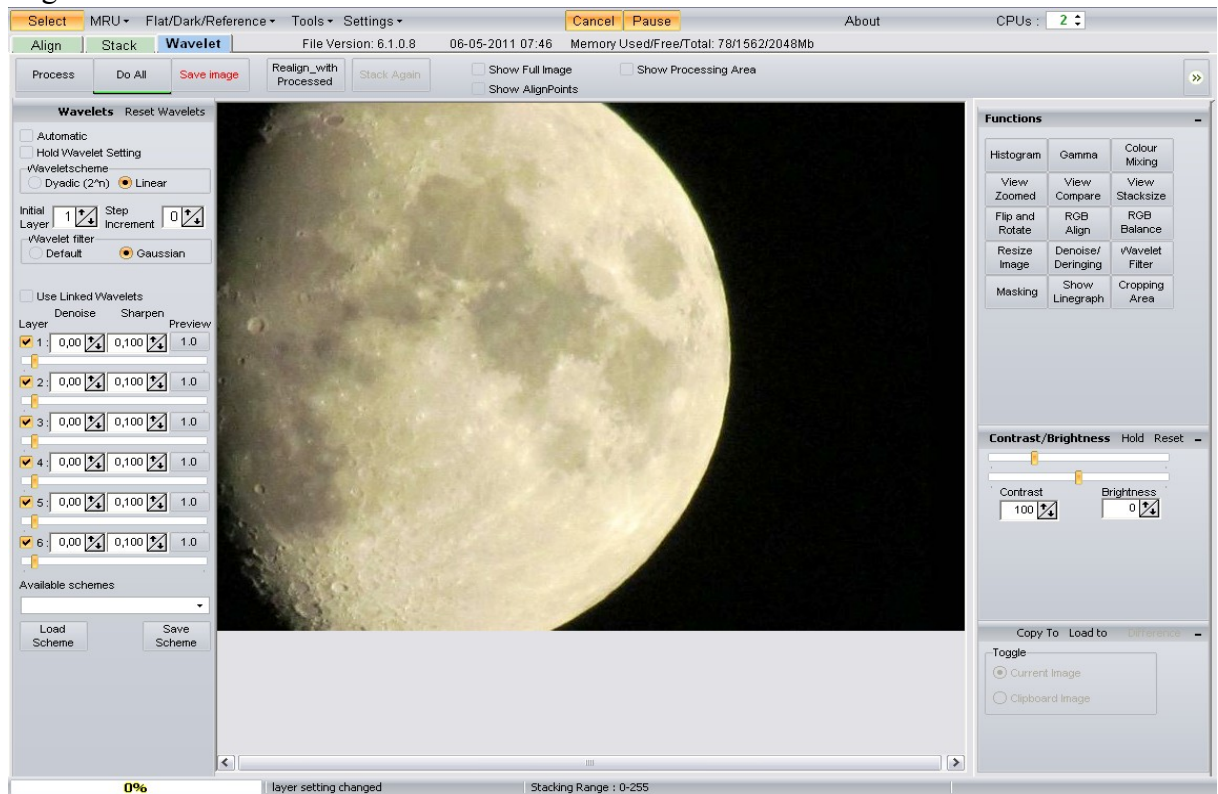


Obrázok č. 10 – GUI programu wxAstroCapture

Zdroj: <http://arnholm.org/astro/software/wxAstroCapture/>

Programy na registráciu

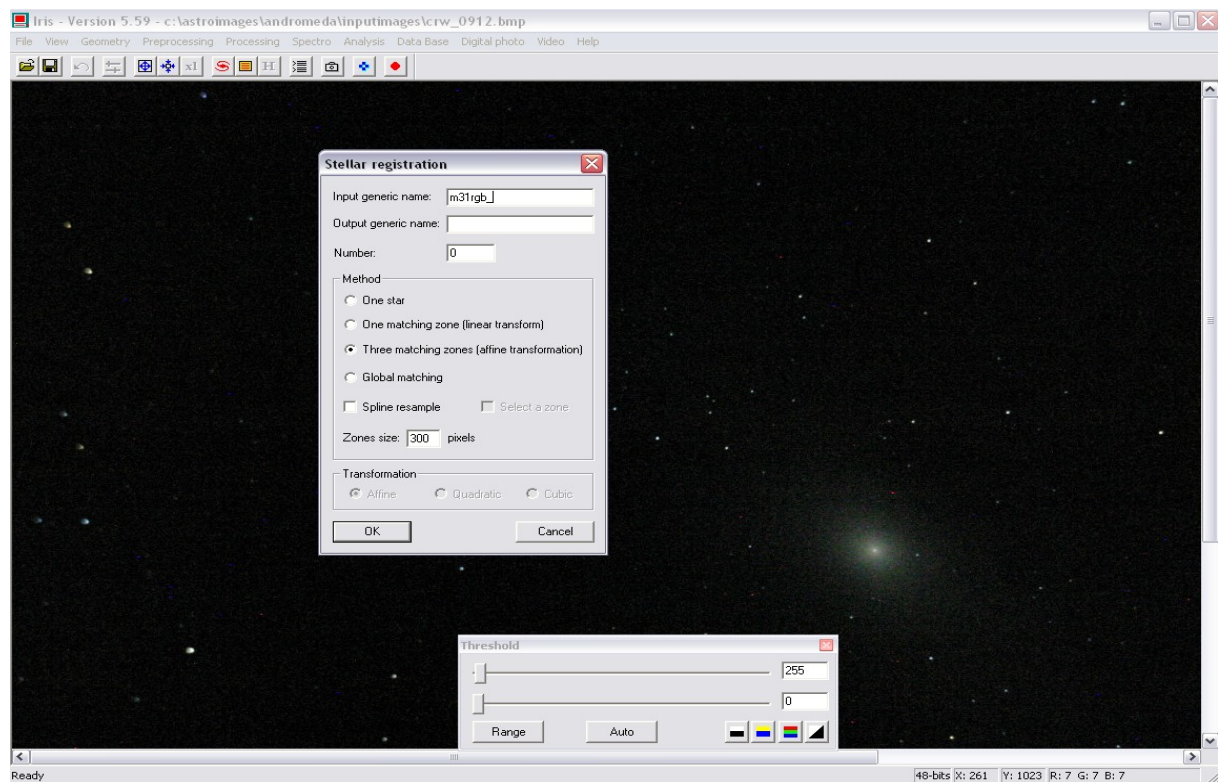
Registax 6



Obrázok č.11 – GUI programu Registax 6.1

Zdroj: <http://www.astronomie.be/registax/>

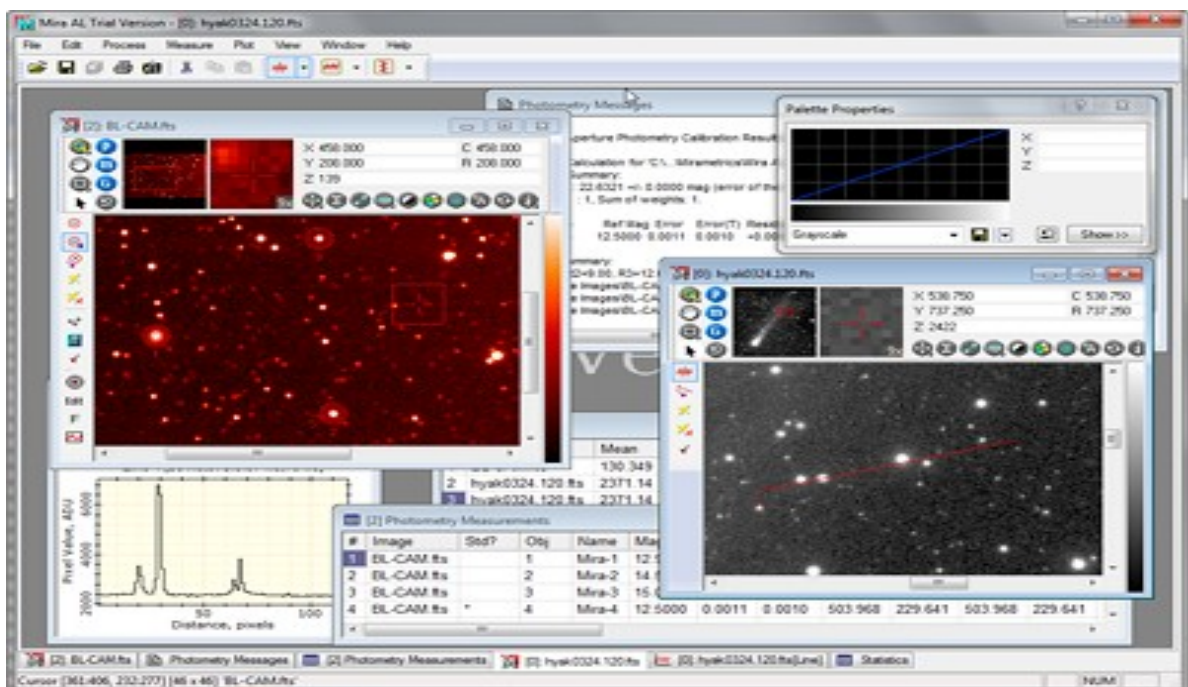
Iris



Obrázok č.12 – GUI programu Iris

Zdroj: <http://www.astrosurf.com/buil/us/iris/iris.htm>

Mira



Obrázok č.13 – GUI programu Mira AL

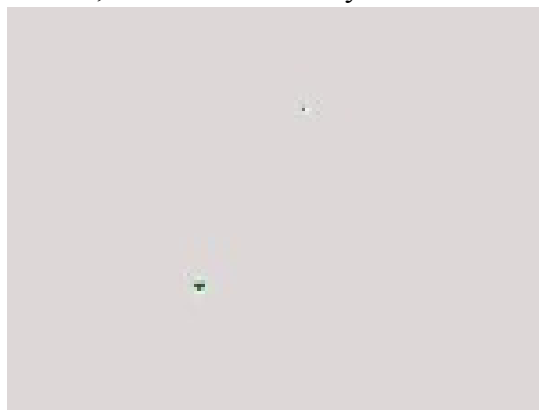
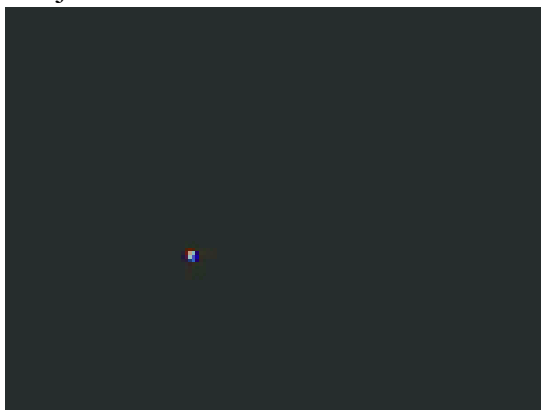
Zdroj: http://www.mirametrics.com/mira_al.htm

Príloha č.5 – Porovnanie výsledkov registrácie programov AstroCam a Registax

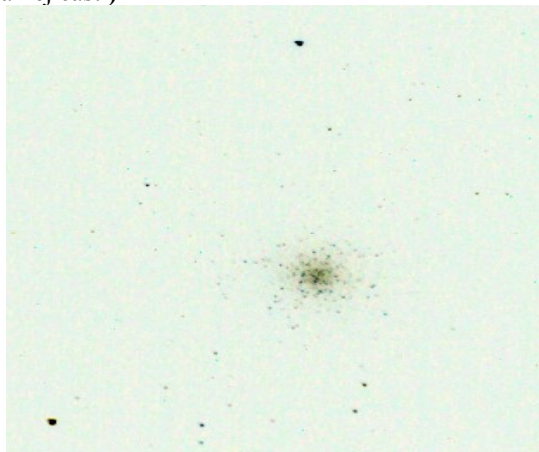
Príklad vstupných dát - jedna individuálna snímka. Výsledná zaregistrovaná snímka vznikla spracovaním týchto individuálnych dát registráciou a priemerovaním.

Poznámka: každá snímka bola upravená v programe Gimp na zvýraznenie detailov. Boli vykonané nasledovné úpravy: zvýšenie jas, kontrastu, farebné korekcie, odčítanie pozadia. Na každú z dvojíc boli aplikované rovnaké úpravy.

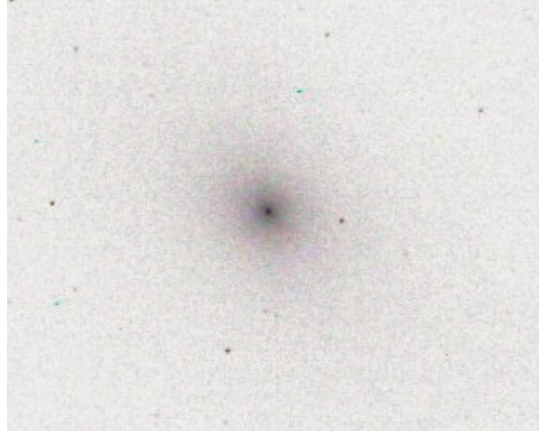
Dvojhviezda **Mizar – Alcor** v súhvezdí Veľká medvedica, v invertovaných farbách...



Gul'ová hviezdokopa **M13 v Herkulovi** (výrez centrálnej časti)

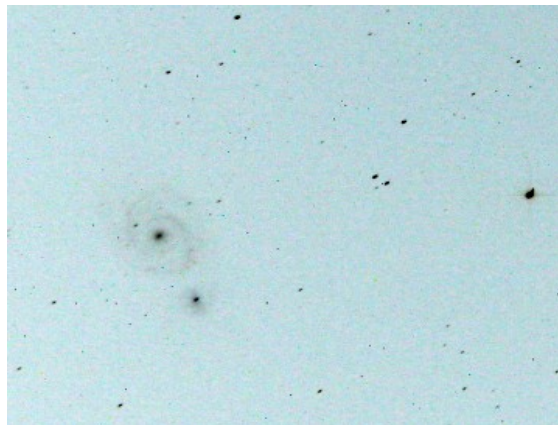


Galaxia **M31 v Andromede** (výrez centrálnej časti)



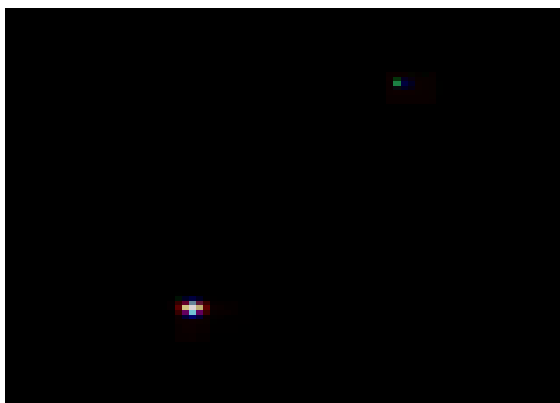
Poznámka: červené body sú horúce pixely

Galaxia **M51 (Whirlpool)** v Poľovných psoch

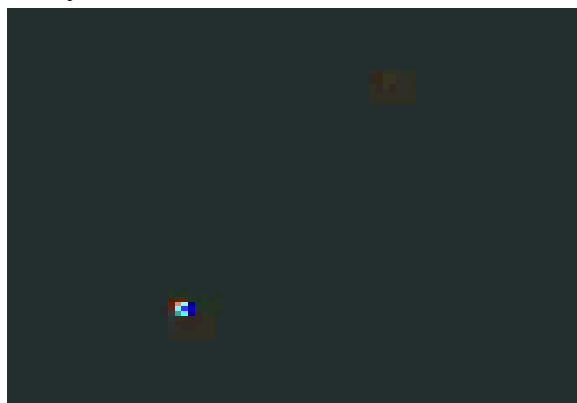


Výsledky registrácie

Mizar–Alcor, zložené z 300 snímok, odčítaný tmavý obrázok



AstroCam



Registax

M13 (Herkules), 16 snímok, odčítaný tmavý obrázok



AstroCam



Registax

M31 (Andromeda), 28 snímok, tmavý obrázok nebol k dispozícii



AstroCam



Registax

M51 (Whirlpool), 13 snímok, odčítaný tmavý obrázok



AstroCam



Registax

Testovacie dáta použité v registračnej časti boli získané za pomoci týchto zariadení:

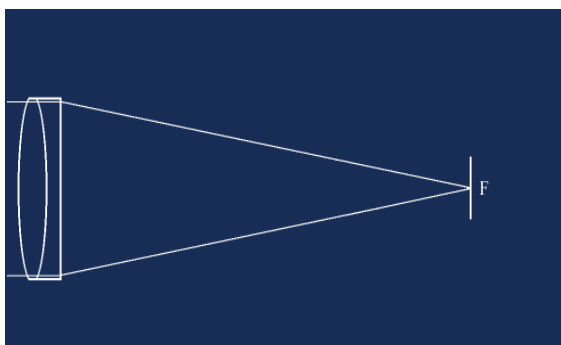
- Web kamera Logitech QuickCam Pro 3000, CCD senzor
- Web kamera VideoCam Look, CMOS senzor
- Fotoaparát: DSLR, Canon 5D MarkII, 21Megapixel, ISO 3200, 30s expozície
- Teleskop: SkyWatcher 200mm zrcadlo, 1000mm ohnisko

Použitá metóda: snímací senzor s primárnom ohnisku

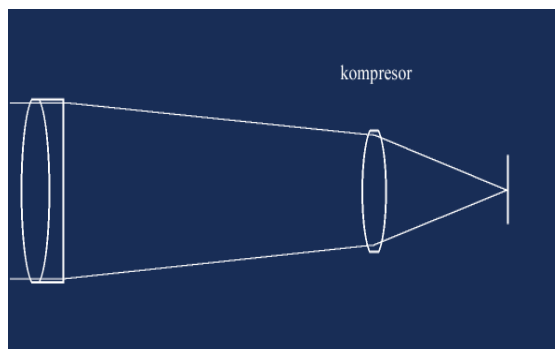


Príloha č.6 – Optické sústavy

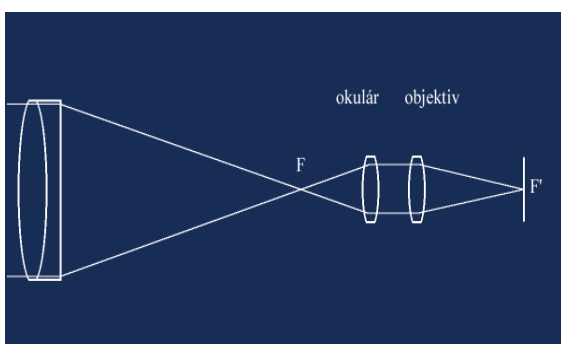
(Zdroj: <http://home.zcu.cz/~smid/afoto/daleko.htm>)



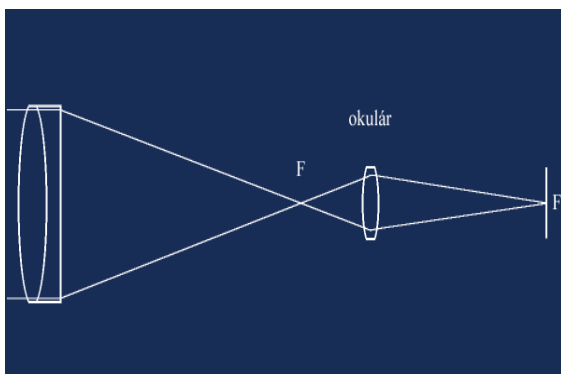
Fotografovanie v primárnom ohnisku



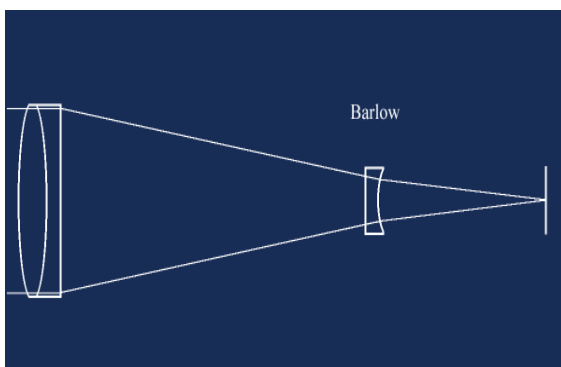
Optický kompresor



Afokálna metóda



Pozitívna projekcia



Negatívna projekcia (Barlow)